Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXI. Jahrgang. **Erstes Heft.** Januar 1918.

Zur physikalischen Didaktik und zur physikalischen Philosophie[1].

Von **Alois Höfler** in Wien.

Herr Geh. Regierungsrat Professor Dr. Volkmann in Königsberg hat in der Zeitschrift „Aus der Natur“[2] einen Abschnitt von Poskes „Didaktik des physikalischen Unterrichtes“ der Kritik unterworfen und daran Betrachtungen „über die Beziehungen der Kunst des Unterrichtes zu der Wissenschaft der Wirklichkeit“ geknüpft. Poske antwortet hierauf in derselben Zeitschrift 14. Jahrg. Heft 2/3 durch einen Aufsatz „Das Ohmsche Gesetz im Unterricht“, wobei er „einen nicht unerwünschten Anlaß fand“, sich „sowohl über das in Betracht kommende Unterrichtsgebiet als auch über die damit zusammenhängenden allgemeinen Fragen“ auszusprechen. Deshalb mögen auch die Leser dieser Zeitschrift über dieses Besondere und Allgemeine in Kenntnis gesetzt werden, und zwar möglichst in Worten ihres Herausgebers Poske, mit denen sie dann selbst den Wortlaut bei Volkmann und Poske in der andern Zeitschrift vergleichen mögen.

Ich wähle für diesen Bericht die Form eines „*Discorso*“ nach dem Vorbild der klassischen *Discorsi intorno a due nuove scienze* Galilei's, dieses Grundbuchs unserer Wissenschaft und Didaktik. Der Leser mag dabei die Rollen der Salviati und Sagredo zwischen den beiden Herren Volkmann und Poske oder, wie wir im Zeitalter der Abkürzungen ohne Unhöflichkeit sagen und schreiben: *V* und *P*, verteilen. Mir (Höfler, *H.*), der ich weniger Physiker als Philosoph bin, fällt dabei von selbst die mehr als bescheidene und jedenfalls undankbare Rolle des Simplicio zu. Immerhin sind es zwei noch immer „neue Wissenschaften“, die im folgenden unter A und B in Stichproben zu Worte kommen.

A. Zur physikalischen Didaktik.

V.: Ich finde, „daß die gegenwärtig als Norm hingestellten Lehren der Schule sich mit dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaften, wie er schon vor längerer Zeit bei einer ganzen Reihe von Autoren seinen Ausdruck gefunden hat, keineswegs allenthalben decken“. Ein willkommenes Beispiel hierfür liefert mir Herr Poske, dessen Ausführungen über die unterrichtliche Behandlung des Ohmschen Gesetzes darin zu gipfeln scheinen: „unbekümmert um den gegenwärtigen Zustand der Wissenschaft den Weg der geschichtlichen Entwicklung, insbesondere den Weg Ohms, als allein maßgebend für den Unterricht betrachten zu wollen“. Poske hat die Bedeutung

[1]) Anmerkung der Herausgebers. An Stelle eines Vorworts zum vierten Jahrzehnt dieser Zeitschrift bringe ich die obige Darstellung des Streits zwischen Herrn P. Volkmann und mir, die Herr A. Höfler für diesen Zweck verfaßt hat. Der neue Jahrgang wird noch über andere Angriffe gegen die heute geltende physikalische Didaktik zu berichten haben; aus dem Kampfe der Meinungen wird sich, wie wir hoffen, eine grundsätzliche Rechtfertigung des bisher befolgten Verfahrens, zugleich aber auch eine weitere Klärung über die künftig zu befolgenden Richtlinien ergeben. P.

[2]) Aus der Natur, Ztschr. f. d. naturwiss. u. erdkundlichen Unterr., Quelle & Meyer, 13. Jhrg. 1917, Heft 4/5.

Kirchhoffs ganz außer acht gelassen, „der als erster die Ohmsche Forschung vom Standpunkte der Potentialtheorie behandelte und damit die Bedeutung des Ohmschen Widerstandsbegriffes als eines abgeleiteteten und abzuleitenden Begriffes in einer wissenschaftlich noch heute maßgebenden Weise festlegte".

P.: „Da in diesen Bemerkungen der Verdacht gefunden werden könnte, als sei mir die Bedeutung Kirchhoffs für den vorliegenden Gegenstand unbekannt geblieben, so muß ich daran erinnern, daß ich das Verhältnis zwischen Ohm und Kirchhoff in zwei Aufsätzen in der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht Jahrgang I und III (angeführt in meiner Didaktik 351_1) erörtert habe. Gerade dort habe ich gezeigt, daß es sich empfiehlt, statt mit der abstrakten Definition des Potentials mit der anschaulichen, durch Ohms elektroskopischen Zustand an die Hand gegebenen zu beginnen."

„Ich muß hier zum besseren Verständnis einige Angaben über den Stand der physikalischen Lehrdarstellung vor drei bis vier Jahrzehnten einschalten. Die Lehrbücher arbeiteten mit einem völlig ungeklärten Begriff von ‚Spannung'. Das bei Kirchhoff als Kräftefunktion definierte Potential war zur schulmäßigen Einführung in das Gebiet ganz ungeeignet, selbst wir Studierenden fanden Schwierigkeiten darin, den rein mathematisch definierten Begriff mit den Tatsachen in Zusammenhang zu bringen. Die von englischen Physikern (namentlich Maxwell) bevorzugte Definition des Potentials durch die Arbeit lag zwar der Anschauung näher, brachte aber auch noch nicht die für den Unterricht erforderliche Klarheit. Man sehe nur, wie sich noch viel später ein so hervorragender Lehrer wie Kundt in seinen Vorlesungen mit mangelhaften Analogien zu helfen suchte. Als eine Erlösung aus so unleidlicher Lage erschien es mir damals, auf den elektroskopischen Zustand G. S. Ohms zurückgehen zu können, der schon bei Cavendish in noch bestimmterer Prägung als Elektrizitätsgrad eine Rolle gespielt hatte. Die dadurch geschaffene Ermöglichung einer Grundlage von klarer Anschaulichkeit war so einleuchtend, daß sich sehr bald die meisten Lehrbücher diesem Vorgehen anschlossen. Ich muß aber mit aller Entschiedenheit in Abrede stellen, daß es sich bei diesem Vorgehen um einen Rückschritt in wissenschaftlicher Beziehung gehandelt hat. Kirchhoff selbst sagt, daß er ‚Spannung' genannnt habe, was Ohm als ‚elektroskopische Kraft' bezeichnet. Er berichtigt Ohm insofern, als er die elektroskopische Kraft nicht auf einen Unterschied der elektrischen Dichtigkeiten, sondern auf einen solchen der Potentialwerte der freien Elektrizität zurückführt. Man würde mir eine wissenschaftliche Rückständigkeit nur dann nachsagen können, wenn ich die elektroskopische Kraft in der alten Ohmschen Auffassung beibehalten hätte; ich habe indessen wohl die alte Bezeichnung benutzt, habe sie aber ausdrücklich im Kirchhoffschen Sinn gedeutet. Man sehe in meiner Didaktik (351) die Überführung des Ladungsgrades in den Potentialbegriff; der anschauliche Sinn der Potentialdifferez ist eben das, was Ohm als elektroskopische Kraft bezeichnet hat."

H.: Ist all das nicht nur ein Streit um Worte, nämlich um die Namen „Spannung, elektroskopischer Zustand, Potential, Elektrizitätsgrad, Ladungsgrad?" Die Sache steht ja heute fest; und ist es daher nicht völlig gleichgültig, welchen Namen man für sie wählt? — Aber wie im mittelalterlichen Streit zwischen Nominalismus und Realismus der *tertius gaudens* schließlich der Konzeptualismus[1]) geworden und geblieben ist, der zwischen die Sache und den bloßen Namen den Begriff (eine „Vorstellung von eindeutig bestimmtem Inhalt") einschaltet (unter Nichtphilosophen hat freilich noch heute der Nominalismus so berühmte Freunde wie Mach, der sogar „die Zahlen

[1]) Vgl. L S. 14: „Was ist ein Begriff?" — dazu namentlich S. 96, 169 u. a. [Als L werde ich im folgenden einigemale meine „Logik" anführen müssen (2. Aufl., Wien, Tempsky, 923 S.). Ihr Satz hat im Mai 1914 begonnen und war im Oktober 1916 abgeschlossen; infolge Papiermangels ist der Zeitpunkt ihres Erscheines noch nicht bestimmbar.

als Namen" beschreibt) —, so ist es auch keineswegs und am allerwenigsten in einem ersten Unterricht gleichgültig und unverfänglich, welche Eigenschaften einer Sache und welche Merkmale eines Begriffes[1]) man durch einen Namen zum Ausdruck bringt. Darum habe ich schon in meiner „Naturlehre für die Unterstufe" (1890) P.s Vorschlag aus Jhg. I und III unserer Zeitschrift in die Tat umgesetzt, als ich im Abschnitt „Elektrische Erscheinungen" von nichts anderem als von Ladungsgraden (vor allem zum Unterschied von Ladungsmenge) sprach und mich dabei ganz auf den unmittelbar vorher im Abschnitt „Wärmeerscheinungen" eingeführten und eingeübten Unterschied von Wärmegrad und Wärmemenge stützte. Als sich damals einige Verfasser anderer Lehrbücher an dem ungewohnten Klang des Wortes „Ladungsgrad" stießen, konnten wir uns auf Mach als wissenschaftlich-physikalischen Gewährsmann berufen. Didaktisch aber brachte das Wort „Ladungsgrad" geradezu eine Rettung vor dem damals in Schülerkreisen noch ungewohnt und geradezu unverständlich klingenden Wort „Potential" — auch für Schulbeamte so ungewohnt, daß kurz vorher sein Gebrauch in der Schule durch eine österreichische Schulverordnung ausdrücklich verboten worden war. — Bliebe also noch höchstens eine Wahl zwischen „Ladungsgrad" und „Elektrizitätsgrad". Freilich wäre es vergeblich, das Wort „Elektrizität" (— diese *electricitas* war ja nur nachgebildet den von den althumanistischen Lateinern so sehr verhöhnten *qualitas, quantitas, quidditas* usw. der scholastisch-realistischen Philosphie —) etwa zugunsten von „Ladung" auch nur unseren Schülern ganz abgewöhnen zu wollen. Aber wenigstens denkt sich der Anfänger unter einem elektrisch mehr oder weniger geladenen Körper etwas ebenso Deutliches (auch solange er nichts von Elektronen weiß), wie unter einem mehr oder weniger warmem Körper (solange er nichts von kinetischer Gastheorie weiß). Erst wo sich diese anschaulichen Vorstellungen eingelebt haben, geben sie einem für die neuen Namen „Potential" nnd „Potentialdifferenz" gereiftem Denken den didaktisch unentbehrlichen Rückhalt.

V.: Es verrät aber doch eine Reihe von „Verlegenheiten" auf P.s Seite, „wenn er sich weder für eine theoretische noch für eine experimentelle Ableitung des [Ohmschen] Gesetzes entschließen kann und sich damit begnügen will, das Gesetz einfach mitzuteilen und dann durch Versuche zu bestätigen".

P.: In meiner Didaktik (361) ist auseinandergesetzt, warum man in der Regel von einer theoretischen Herleitung wird absehen müssen. Ich halte es aber auch nicht für ratsam, auch nur den Schein zu erwecken, als wäre dieses fundamentale Gesetz auf dem Wege der reinen Empirie, ohne die Tätigkeit des theoretischen Denkens entdeckt worden, es wird dadurch die ganze Auffassung über das Verhältnis von Theorie und Empirie allzu sehr verschoben. Dazu kommt noch, daß eine experimentelle Herleitung, wenn sie beweiskräftig sein soll, viel zu zeitraubend ist, als daß sie heute, bei der ungeheuren Ausdehnung der Elektrizitätslehre, ohne Beeinträchtigung anderer wichtiger Teile dieses Gebietes vorgenommen werden könnte. Überdies bieten sich bei den praktischen Schülerübungen so mannigfache Gelegenheiten zur Bestätigung des Gesetzes, daß man auch mit Rücksicht hierauf die Darstellung im Unterricht selbst nach Möglichkeit abkürzen kann.

V.: Ich habe nun aber grundsätzliche Bedenken gegen die Art, wie Herr P. den Begriff des Widerstandes einführt. Herr P. scheint der Meinung zu sein, daß Stromstärke, elektromotorische Kraft und Widerstand drei Grundbegriffe sind, und daß das Ohmsche Gesetz diese Begriffe naturgesetzlich verknüpft, so daß sie in funktionalen Zusammenhang miteinander gesetzt werden?

P.: So ist es. „Was im besonderen den Begriff des Widerstandes betrifft, so sehe ich für den Ursprung dieses Begriffes die Erfahrungstatsache als bestimmend

[1]) Über dieses Auseinanderhalten von Eigenschaft (des Dinges) und Merkmal (der Vorstellung) vgl. L § 15 u. a.

an, daß die Stromstärke im Schließungskreise eines Elementes (oder einer Batterie) mit wechselnder Beschaffenheit des Schließungskreises veränderlich ist, und zwar in dem Sinne, daß mit wachsender Länge des Leitungsdrahtes bei sonst gleicher Beschaffenheit die Stromstärke abnimmt. Diese Tatsache führt zu der zunächst noch ungeklärten Vorstellung eines Widerstandes. Entkleidet man diese Vorstellung aller Zutaten, die aus der Analogie mit einer Flüssigkeitsbewegung entnommen sind, so gelangt man zu der Präzisierung: Unter Widerstand versteht man eine Eigenschaft elektrischer Leiter, vermöge deren die Stromstärke in dem Stromkreise eines Elements sich ändert, wenn Länge, Querschnitt oder Material der den Stromkreis bildenden Leiter geändert werden. Daß der Widerstand bei doppelter Länge des Leiters sich verdoppelt, kann zunächst als eine plausible Annahme eingeführt werden, die nachher gelegentlich des experimentellen Nachweises für die Richtigkeit des Ohmschen Gesetzes ihre Bestätigung findet; man kann aber auch schon hier durch Verdopplung der Länge des ganzen Stromkreises (einschließlich des Widerstandes im Element) die Annahme als richtig erweisen. ... Ich setze ferner voraus, daß auch die EMK verschiedener Elemente durch Messung der Potentialdifferenz der offenen Kette bestimmt worden ist. Nun erst ist es möglich, das Ohmsche Gesetz mitzuteilen, dessen Sinn sich etwa in folgender Form aussprechen läßt: Wenn in einem Stromkreise von gegebenem Widerstand w eine elektrische Kraft e vorhanden ist, so tritt in ihm ein elektrischer Strom auf, dessen Stärke i durch die Gleichung $i = e/w$ bestimmt ist. Das Ohmsche Gesetz schließt demnach die beiden Erfahrungstatsachen in sich ein: 1. daß die Stromstärke der den Strom hervorrufenden elektrischen Kraft proportional und 2. daß sie einer spezifischen Eigenschaft der Materie, dem Widerstande, umgekehrt proportional ist. Hierin ist enthalten, daß von den drei vorkommenden Größen e und w die unabhängigen Variabeln, i die abhängige Variable ist. Man kann selbstverständlich hintennach in der abstrakten mathematischen Formel jede der drei Größen als abhängige Variable auffassen. Dies ändert aber nichts an dem ursprünglichen und natürlichen Zusammenhang, in dem diese drei Größen miteinander stehen. Es hieße diesen Zusammenhang verdunkeln, wollte man etwa den Widerstand für das abhängige Variable ausgeben.

H.: Auch ich halte die von P. vertretene Auffassung für die dem Schüler nächstliegende. Hat er gesehen, daß das Einschalten eines langen statt eines kurzen, eines dünnen statt eines dicken, eines Eisen- statt eines Kupferdrahtes zwischen die Klemmen der nämlichen (möglichst vielelementigen) Batterie oder Dynamomaschine die Stromstärke in diesen Leitern verkleinert, so wird er ohne jedes Dreinreden (oder gar ‚Definieren') von seiten des Lehrers sich sagen, daß der Strom jetzt ‚schlechter geleitet' werde oder einen ‚größeren Widerstand' findet. Erst wenn in ihm aus dem Anschauen der Versuche sich spontan dieses Denken an ein ‚Widerstehen' z. B. des dünnen, langen, eisernen Drahtes gebildet hat, mag der Lehrer eingreifen durch eine Mahnung, nicht zuviel, weil allzu Anschauliches in die Beobachtung hineinzudenken; z. B. auch durch die Frage, inwieweit wir das Schlechtleiten der Wärme als einen ‚Widerstand' gegen den Wärmestrom denken dürfen. In der Oberstufe meiner Physik habe ich das Kleinerwerden der Stromstärke möglichst nahe herangerückt an die Tatsache des Wärmerwerdens, d. h. das Umsetzen der Stromenergie in Wärmeenergie. Der Schüler mag sich dann selber fragen, inwieweit er durch diese Tatsache berechtigt sei, die sonstige Analogie zwischen Wärme- und Ladungsleitung auszudehnen bis zu dem Warmwerden durch ‚Reibung' und sich so ein (allerdings wiederum noch allzuanschauliches) Bild vom Wesen des elektrischen ‚Widerstandes' zu amchen.

V.: Gegenüber dem von P. eingeschlagenen Verfahren ist folgende Darstellungsweise die allein wissenschaftliche: Grundbegriffe sind nur elektromotorische Kraft und Stromstärke; hingegen entspricht es „durchaus dem Standpunkt der gegenwärtigen

Wissenschaft, den Begriff des Ohmschen Widerstandes theoretisch als einen abgeleiteten Begriff hinzustellen" ... „Das Ohmsche Gesetz lehrt für jedes Leiterstück, für jeden Leiter in bezug auf bestimmte Querschnittsflächen konstanten Potentials (Elektroden) das Verhältnis ihrer Potentialdifferenz zu der dadurch bedingten Stromstärke als eine konstante, auch von der Höhe der Potentialwerte selbst unabhängige Größe kennen. Diese Konstante ist es, die als Ohmscher Widerstand zu definieren ist; ohne Beziehung auf gegebene Flächen konstanten Potentials verliert der Begriff des Ohmschen Widerstandes seine Bedeutung."

P.: Freilich ist es in rein formaler Hinsicht zulässig, den Widerstand als die unabhängige Variable in der Ohmschen Gleichung anzusehen. Herr V. kann sich, indem er dies tut, auf den Umstand stützen, daß die absolute Maßeinheit für den Widerstand tatsächlich auf die Gleichung $w = e/i$ gegründet ist. In dem System der elektrischen Maßbestimmungen erscheint daher der Widerstand als ein abgeleiteter Begriff. In Wahrheit ist aber nicht der Begriff selber, sondern die für ihn festgesetzte Maßeinheit eine abgeleitete. Ich will den Unterschied, der hier gemacht ist, an der Grundgleichung der Dynamik, $k = m \cdot b$, verdeutlichen. Je nachdem man die Maßeinheiten nach dem terrestrischen oder dem absoluten System festsetzt, sieht man im ersten Falle m, im zweiten k als abhängige Veränderliche an. Jede der beiden Festsetzungen ist formal gleich zulässig, die Wahl der einen oder der andern entscheidet aber nichts über die wirkliche, reale Abhängigkeit der Größen voneinander. In realer Hinsicht kann nur eine der Größen als die durch die andern beiden ‚bedingte' angesehen werden. In der Grundgleichung der Dynamik ist dies die Beschleunigung, im Ohmschen Gesetz ist es die Stromstärke, dagegen sind EMK und Widerstand des Leiterkreises die realen Gegebenheiten, von denen die Größe der Stromstärke abhängt. Trifft dies aber zu, so wird auch bei der experimentellen Behandlung von den Begriffen des Widerstandes und der EMK auszugehen sein, um die Abhängigkeit der Stromstärke von diesen beiden zu erweisen."

H.: Hier scheinen freilich schon nicht mehr rein physikalische, auch nicht nur didaktische, sondern ganz ausdrücklich philosophische Ansichten sich entgegenzutreten. Denn P. spricht von realer Abhängigkeit, von realen Gegebenheiten, und das klingt nach alter, nicht nach der neuesten Philosopie. Da wir aber auf diese erst unter B. zu sprechen kommen, so merken wir es bis dahin vor, daß auch V. von einer „durch Potentialdifferenzen bedingten Stromstärke" spricht. Es wird dort zu überlegen sein, ob hier nur ein rein mathematisches (ideales) Quasi-Bedingtsein oder vielleicht doch ein wirkliches, reales Bedingtsein vorschwebt.

P: Fassen wir aber die von Herrn V. angegebene Definition näher ins Auge. Kann ein Schüler, kann irgend jemand sich dabei etwas denken, daß eine EMK durch eine Stromstärke dividiert wird? Man wird einwenden: ebenso gut, wie wenn man die Geschwindigkeit durch den Quotienten „Weg durch Zeit" definiert. Ich behaupte: ebensowenig ... Im vorliegenden Falle wäre Geschwindigkeit (einer gleichförmigen Bewegung) als „Intensität der Bewegung" zu definieren. Um diese Intensität zu messen, muß man sich einer gleichartigen Größe, also wieder einer Geschwindigkeit bedienen. Als Maßeinheit wählt man die Geschwindigkeit, bei der in der Zeiteinheit (1 sek.) die Wegeinheit (1 m) zurückgelegt wird. Dann ergibt sich, daß die Maßzahl der Geschwindigkeit gefunden wird, indem man die Maßzahl des Weges durch die Maßzahl der Zeit dividiert. Die Gleichung $c = s/t$ gilt also für die Maßzahlen, nicht aber für die Größen, geschweige denn für die Begriffe. Da man es aber in der rechnenden Physik wesentlich mit der Maßzahl zu tun hat, so hat man sich daran gewöhnt, daß sich die Geschwindigkeit c durch den Quotienten s/t ersetzen läßt. Dies betrifft aber immer nur die Maßzahl, nie den Begriff selbst. Findet man gleichwohl in physikalischen Lehrbüchern die Angabe, daß die Geschwindigkeit durch den Quotienten s/t definiert sei, so ist dies ein Mißbrauch des Wortes definieren.

Ich brauche nicht auszuführen, inwiefern das Gesagte auch auf die Volkmannsche ‚Definition' des Widerstandes Anwendung findet.

H.: Oft haben P. und ich in den frühesten Jahrgängen dieser Zeitschrift und anderwärts dagegen Stellung genommen, daß man das ‚Definieren' physikalischer Begriffe durch bloße Formeln (z. B.: Was ist Geschwindigkeit? Was ist Arbeit? — Antwort: Nichts als s/t, $p \cdot s$), das in rein wissenschaftlichen Darstellungen für Wissende eine durchaus zulässige Abkürzung ist, auch gegenüber erst Lernenden dulde oder gar dazu verleite. Hier ist es keine Ökonomie des Denkes, Sprechens und Schreibens, sondern geradezu eine Verleitung zum gedankenlosen Nachsprechen und Nachschreiben solcher Formeln, durch das dann dem Schüler die Erinnerung daran ausgetrieben wird, daß doch die guten deutschen Wörter „Geschwindigkeit", „Arbeit" usw. auch schon vor aller wissenschaftlichen, zumal mathematischen Physik etwas ganz Bestimmtes bedeutet hatten (z. B. arebeit im Nibelungenlied) und wesentlich dasselbe noch heute bedeuten. Fragt sich nur, was? Und die Antwort darauf lautet so, wie die des Augustinus auf die Frage „Was ist die Zeit?": *Si non rogas, intelligo — rogatus nescio.* Wenn ich einen Pfeil oder einen Wolkenschatten geschwind fliegen, eine Schnecke langsam kriegen sehe, so weiß ich zwar ganz gut, was „geschwind" und „langsam" heißt, kann es aber nicht leicht oder (solange ich eben nicht analysierender Psychologe oder vielmehr „Gegenstandstheoretiker" bin) gar nicht sagen; und was es heißt, körperlich arbeiten, wüßte höchstens der nicht, der auch „nicht essen soll". Und wenn ich dann gar dem nur didaktischen und nur physikalischen Leser sage: Geschwindigkeit ist eine Gestaltqualität, die fundiert ist durch die Erstgegenstände Raumstrecke und Zeitstrecke (ebenso wie z. B. die Melodie als Tongestalt fundiert ist durch die einzelnen Töne), so lehnt er das ab: *philosophica sunt, non leguntur.* Wir kommen daher auf solche „physikalische Philosophie" erst unter B. — Und wir wiederholen auch nicht, was in jenen früheren Jahrgängen (und z. B. in meiner Physik, große Ausgabe, math. Anhang) gesagt ist über die merkwürdige Tatsache und ihre Erklärung, daß und warum die Physiker aus ihren Grundgrößen *cm, sec, g* neue „Dimensionen" hervorgehen lassen gerade nur nach dem multiplikativen und dem divisiven Typus (d. h. in Analogie zu den beiden Rechnungsoperationen des Multiplizierens und Dividierens). Betonen aber will ich hier neuerdings, daß ich mich P. völlig anschließe, wenn er die „Größe" (diesmal *quantum*, nicht *quantitas*) z. B. der Geschwindigkeit für etwas hält, was, gleichviel ob und wie es nachmals gemessen[1]) wird oder nicht, vor allem ein Quale darstellt, das in der Anschauung vom Schüler längst erfaßt ist und sein muß, ehe man ihn lehrt, daß und wie man seine Größe (*quantitatem*) auf die Größen von Raum und Zeit, s und t (was aber schon wieder zuviel, also ungenau gesagt ist) „zurückführen" kann.

V.: „Herr P. sagt ganz richtig (im Anschluß an Versuche von K. Rosenberg über Entladungsströme von Elektrisiermaschinen), daß die galvanische Strömung in vieler Hinsicht so ganz anders verläuft" (als die Strömung der sogenannten ‚statischen Elektrizität'); „wenn er aber innerhalb desselben Satzes zuvor behauptet, daß auch strömende statische Elektrizität dem Ohmschen Gesetze folgt, so wären folgende Experimente heranzuziehen usw.[2]).

P.: Nicht nur der auch von mir hochgeschätzte Grimsehl gibt die Versuche mit der Hanfschnur an, sondern auch Herrn V.s Kollege Herr W. Kaufmann weist

---

[1]) Dies gegen Schlicks Definition des physikalisch Wirklichen als des Meßbaren (vgl. Abschnitt B im nächsten Hefte dieser Ztschr.).

[2]) Anmerkung des Herausgebers. Diese und noch eine zweite experimentelle Bemerkung des Herrn P. Volkmann habe ich schon in meiner Erwiderung a. a. O. als unzutreffend dargetan; sie wird in dieser Zeitschrift voraussichtlich noch von anderer Seite eine kritische Beleuchtung erfahren. P.

in der neuesten Auflage des schon angeführten Werkes (Müller-Pfaundler, V 286 ff.) ebenfalls das Ohmsche Gesetz zunächst bei schlechten Leitern für langsam verlaufende elektrische Entladungen durch Versuche nach, die im Prinzip mit den von Rosenberg angestellten übereinstimmen. Ich befinde mich also in keiner schlechten Gesellschaft, wenn ich diese Versuche an sich gelten lasse. Ich habe lediglich die Zulässigkeit der Analogie mit den galvanischen Strömen in Frage gestellt — wie es Herr V. auch tut; gleichwohl glaubt er mich deshalb angreifen zu sollen.

H.: In diese Einzelheiten von Schulversuchen darf ich hier nicht eingehen, sondern höchstens bemerken, daß „strömende statische[1]) Elektrizität" einigermaßen wie „hölzernes Eisen" klingt, und jedenfalls nur ein Überlebsel aus den Vorstellungsweisen ist, die einst ohne weiters „Reibungs- und galvanische Elektrizität" unterschieden. Wollte man jedoch hier das doch allzu äußerliche Einführen der zufällig zuerst angewendeten Apparate und Handgriffe durch die Vorstellungsweisen der gegenwärtigen Wissenschaft ersetzen, so ginge es nicht ab ohne Mitteilungen über Elektronen und ihre Kinetik u. dgl. Da das aber didaktisch weit vorgreifen hieße, wird es, wie auch sogar Gedanken über das Elementarquantum der Ladung sich mit der Zeit noch ändern mögen (Ehrenhaft behauptet, sogar zwanzigmal so kleine Ladungen beobachtet und gemessen zu haben und wurde hierfür nun schon zum zweitenmal von der Wiener Akademie preisgekrönt), so wird es doch für einige Zeit noch sehr vom Takt des Lehrers abhängen, wie er in der Elektrik den Gegensatz von kinetisch und statisch einführt. Dieses Begriffspaar pflegt ja sogar in der viel handgreiflicheren Mechanik noch immer in logisch recht anfechtbarer Weise dargestellt zu werden: denn schon die Beiordnung von „Statik und Dynamik" ist ja dem Wortlaut nach offenbar unlogisch, da eben *δύναμις* Kraft heißt, und also innerhalb der „Dynamik" auch die Statik als die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte (genauer: einem Grenzfall von Kraftwirkungen) in der Dynamik behandelt werden müßte. Darum disponierte ich meine Physik so: Phoronomie — Dynamik, innerhalb letzterer die Begriffe kinetisch[2]) und statisch; ferner Dynamik im engeren Sinne (Leitbegriffe: Kraft, Masse) und Energetik (Leitbegriffe: Arbeit, Energie). — Aber bekanntlich rücken sich solche Dinge nicht so schnell zurecht, wenn ein bißchen unbewußte oder gar bewußte Unlogik zum Urväterhausrat physikalischer Darstellungsgewohnheiten gehört. —

Doch beim knappen Raum ist es höchste Zeit, uns „noch zu einigen allgemeinen, von Herrn V. berührten Fragen zu wenden".

V.: „Woher kommt es, daß der physikalische Unterricht noch immer nicht genügend die Vorteile wahrnimmt, welche die Ergebnisse der Wissenschaft mit ihrem abkürzenden und das innere wahre Verständnis klärenden Charakter gewährleisten möchte?"

P.: Ich gebe Herrn V. „ganz recht, daß der Schulunterricht mit dem wissenschaftlichen Fortschritt in der Regel nicht gleichen Schritt hält, was bei der reißend schnellen Entwicklung der Physik in den letzten Jahrzehnten nicht wundernehmen darf. Es hat allerdings niemals an Heißspornen gefehlt, die das Allerneueste sogleich den Jungen vorzusetzen für gut fanden, ohne Rücksicht darauf, daß es vielleicht in nicht zu ferner Zeit noch Neuerem den Platz räumen müßte" (z. B. die physisch-magnetischen Kraftlinien, deren anziehende und abstoßende Wirkungen aufeinander

[1]) In dem Programm „Theorie des elektrischen Gleichgewichtes in elementarer Behandlung" (Gymnasium Salzburg 1912/13, 51 S.) sagt Friedr. Spath, „das Bedürfnis, den Zasammenhang zu finden zwischen den einzelnen Naturerscheinungen", werde „wohl auf keinem Gebiete der elementaren Physik so wenig befriedigt, als auf dem der Elektrostatik"; z. B. „der Sitz der Elektrizität ist die Oberfläche".

[2]) Nicht zu verwechseln mit „kinematisch", — deutlicher: phoronomisch.

durch sehr fragwürdige experimentelle Beweise den Schülern, ich kann nur sagen: suggeriert werden sollten).

V.: „Aufgabe des physikalischen Schulunterrichts ist es, den Schüler in die ihm vollkommen fremde, unbekannte Welt der physikalischen Erscheinungen einzuführen. Dazu ist vor allen Dingen nötig, daß ihm die Auswahl physikalischer Erscheinungen vorgeführt wird, welche geeignet erscheinen, ein Bild von den Gegenständen zu entwerfen, auf welches auch die Wissenschaft Wert legt."

P.: „Demgegenüber ist jedoch folgendes in Erwägung zu ziehen. In der Didaktik nicht bloß des physikalischen, sondern des gesamten Unterrichtes hat sich schon lange ein Verfahren bewährt, das man als das entwickelnde zu bezeichnen pflegt, und dem ich vor langer Zeit einmal die Form gegeben habe: der physikalische Unterricht soll die Wege verstehen lehren, auf denen physikalische Erkenntnis gewonnen wird." Höfler hat in dem Vorwort (S. VIII) seiner Physik gesagt: „Es gehört zu den Aufgaben gerade des physikalischen Unterrichts, die Schüler von der Stufe des vorwissenschaftlichen Denkens zu der des wissenschaftlichen Denkens erst hinzuleiten."

H.: Ich glaube das noch heute und fürchte, daß der physikalische Unterricht in dieser Hinsicht noch heute sehr vieles zu wünschen übrig läßt. Wie käme es sonst, daß einem erschreckend großen Teil unserer Schüler gerade dieser Unterricht nicht nur gleichgültig, sondern geradezu verhaßt ist[1])? Doch hüten wir uns auch hier, sogar trübste Erfahrungen sogleich zu verallgemeinern, sondern lassen wir zuletzt solches Gift zu einem Heilmittel werden, indem die Erkenntnis selbst tiefstgehender Mängel einzig dazu führen kann, innigeren Anschluß an die geistige Gesamtentwicklung der Zöglinge zu suchen, als sie sich bisher gefunden hat und je wird finden können, wenn wir, statt alle Phasen innerer Entwicklung unserer Schülerseelen im Auge zu behalten, nur einseitig ausschauen auf die jeweilig letzte Entwicklungsphase

---

[1]) In meinem Aufsatz: „Die deutsche höhere Schule nach dem Weltkriege. Und die österreichische?" (*Zeitschr. f. d. österr. Gymn., Jhrg. 1916* [in SA bei Hölder, Wien], *S. 731*) habe ich erzählt, daß mir kürzlich der Kollege eines humanistischen Faches an der Universität sagte, er habe von allen Schulgegenständen keinen so sehr gehaßt wie die Physik: denn er sei von Stunde zu Stunde gezwungen gewesen, allerlei Zeug mit oder ohne Rechnung einzulernen, ohne eigentlich von der ganzen Sache etwas zu begreifen. Weder Mangel an Intelligenz noch an Liebe zur Wissenschaft überhaupt kann schuld gewesen sein, da ja jener *ἀφυσικός* es trotzdem zum Hochschullehrer gebracht hat. Und die Ursachen solchen Hasses? Von allem Kleineren und Kleinlichen abgesehen, ist es, fürchte ich, die, daß es wohl kaum 10 oder 5% unserer Schüler zu dem angenehmen Gefühl bringen, die Physik ihres Lehrbuches auch wirklich zu verstehen, wenigstens was ich unter Verstehen verstehe: physikalisch Anschauen, Denken und Eingliedern können in das Ganze der Erfahrungen und Gedanken, die sich ein Kind von zehn bis zum Jüngling von achtzehn Jahren im Verkehr mit den Dingen der physischen und psychischen Welt füglich hat verschaffen können. Die Last eines solchen Vorwurfes aber hat keineswegs unser physikalischer Unterricht allein zu tragen — sondern wie Weniges von dem, was an unsere Schüler als Schulwissen herantritt, hat ihm in seinem Innersten überhaupt etwas zu sagen!" — Dem wäre noch viel beizufügen; jedenfalls ein Rat an so ziemlich alle Schulfächer, realistische wie humanistische, sich den Zugang zu den Seelen der Schüler nicht von Anfang an dadurch zu verrammeln, daß man ihnen statt einer Anknüpfung an ihren natürlichen Erfahrungskreis sogleich die für sie noch unverdaulichen Endergebnisse von oft langen rein wissenschaftlichen Entwicklungsreihen allzu kurzer Hand „beizubringen" sich abmüht. Ich fürchte, wir stehen in diesem Punkt in einem verhältnismäßig noch sehr frühen Entwicklungstadium einer künftigen Geschichte des Unterrichts und der Erziehung; d. h. man wird in hundert oder vielleicht schon in dreißig Jahren auf unser pädagogisch-didaktisches Tun mit ebensolchem verwunderten Lächeln zurückblicken, wie wir auf das in den Zeiten vor Comenius. — Einige nähere Ausführungen und Begründungen dieser meiner Ketzereien gegen das augenblicklich noch für allein gültig gehaltene Verhältnis von Wissenschaft und Schule wird der X. Bd. unserer Didaktischen Handbücher für den realistischen Unterricht („Das Verhältnis der realistischen Unterrichtsfächer zu den sogen. humanistischen") bringen, und vorher schon den Aufsatz „Seelenlosigkeit und Beseelung unserer Schulen" (*Bayreuther Blätter 1918*, in SA bei B. G. Teubner).

der physikalischen Wissenschaft als solcher. Die ist ja dem Schüler so sicher fremd, wie höchstens Athene dem Haupte ihres Vaters, aber kein neugeborenes Menschenkind dem Schoß der Mutter mit Überspringung des phylogenetischen Grundgesetzes entstammt. Daher seien wieder und im Sinne ältester Jahrgänge dieser unserer Zeitschrift die unschätzbaren Ratschläge Machs zum Anschluß der Didaktik an die Geschichte der Wissenschaft, der Logik an die Psychologie des Schülers in Erinnerung gebracht, was auch P. in mehreren Anmerkungen unter Angabe von Band und Seitenzahl getan hat. — Und hiermit wenden wir uns B. Zur physikalischen Philosophie. (Schluß folgt im nächsten Heft.)

Das Bild des im Wasser befindlichen Stabes.

Von

Prof. Dr. **Emil Schulze** in Berlin-Friedenau.

Beim Baden machte ich eine Beobachtung, auf die meines Wissens noch nirgends aufmerksam gemacht worden ist: ich sah, in der Badewanne liegend, bei schiefer Kopfhaltung jeden im Wasser befindlichen, meinen Augen nahen Gegenstand doppelt. Beispielsweise erschien mir mein Fingerring bei gerader Kopfhaltung, bei der die Verbindungslinie der Augen parallel zur Wasserfläche war, nur einfach; sobald ich aber den Kopf seitlich wendete, erblickte ich zwei Ringe, die sich beim Drehen des Kopfes einige Zentimeter voneinander entfernten. Durch abwechselndes Schließen des einen und des andern Auges stellte ich fest, daß das untere Ringbild vom oberen Auge, das obere vom unteren Auge gesehen wurde.

Noch eine andere Beobachtung erregte meine Aufmerksamkeit. Wenn ich bei gerader Kopfhaltung die Gegenstände im Wasser betrachtete und das eine Auge abwechselnd schloß und öffnete, so blieben die Bilder unverrückt an derselben Stelle. Das war mir zunächst überraschend, denn beim Sehen mit beiden Augen und gerader Kopfhaltung erscheint der Lichtpunkt P nur gehoben in Q (Fig. 3), indem nach der Brechung die beiden in die Pupillen gelangenden Strahlenbüschel SO und $S'O'$ sich, rückwärts verlängert, in Q schneiden. Beim Sehen mit einem Auge dagegen erscheint der Lichtpunkt P nach der in den Schulbüchern allgemein vertretenen Ansicht nicht nur gehoben, sondern auch nach dem Beobachter zu verschoben in R (Fig. 1), indem die beiden in derselben Vertikalebene befindlichen unendlich nahen Strahlen PS und PS' nach der Brechung sich, rückwärts verlängert, in R schneiden. Diese Ansicht ist mit meiner Beobachtung nicht in Einklang zu bringen, denn wäre sie richtig, so müßten beim Schließen des einen Auges die Bilder vorrücken. Der Einwand, daß das Vorrücken nicht gemerkt wird, weil alle Bilder seitlich verschoben werden, ist hinfällig, da diese Verschiebungen ungleich groß sind.

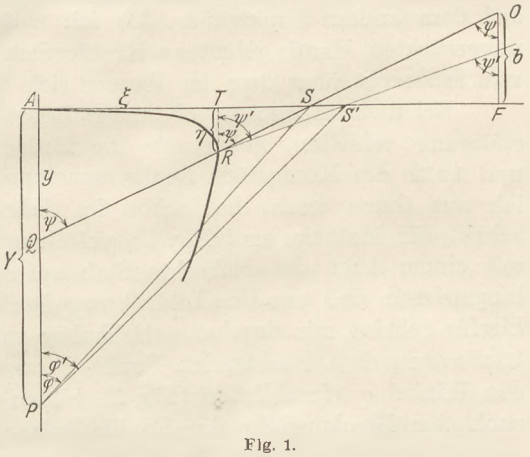


Fig. 1.

In der Tat ist die mathematische Behandlung des Problems, wonach R das Bild von P ist, nicht erschöpfend. Eine gründlichere Behandlung (vergl. den Aufsatz von

Hahn im 7. Jahrgang dieser Zeitschrift) führt zu dem Ergebnis, daß sämtliche von einem leuchtendem Punkt P ausgehenden und in die Pupille O gelangenden Strahlen sich, rückwärts verlängert, in zwei kurzen Brennlinien schneiden, von denen die eine in der Vertikalen AP bei Q liegt, die andere die Linie OQ bei R durchquert.

Aus irgend einem Grunde, der zunächst unerörtert bleiben möge, ist von den beiden mathematisch möglichen Bildern Q und R nur eins sichtbar, aber weshalb man ohne Prüfung annimmt, daß gerade R dies Bild sein soll, ist entverständlich. Im Gegenteil weist meine Beobachtung darauf hin, daß Q das sichtbare Bild von P ist.

Besonders wichtig für die Entscheidung, welches von beiden mathematisch möglichen Bildern gesehen wird, ist die Betrachtung eines im Wasser befindlichen aufrechten Stabes AP (Fig. 1). Sollte R das Bild von P sein, so müßte sich dem Auge das gekrümmte Stabbild AR darbieten. Das ist nicht der Fall, der aufrechte Stab erscheint auch im Bilde aufrecht. Weiter unten folgt die Aufstellung der Gleichung der Kurve AR; nach ihr ist die Fig. 1 für eine bestimmte Stellung des Auges zum Stab entworfen, um dem Einwurf zu begegnen, daß die Krümmung so schwach ist, daß sie nicht zu erkennen ist.

Anführen will ich noch, daß von den beiden oben erwähnten Ringbildern das eine genau senkrecht über dem andern sich befand, was sich nur dadurch erklären läßt, daß eine seitliche Verschiebung der Bilder, die ungleich groß hätte sein müssen, nicht stattgefunden hat.

Endlich will ich noch einen Versuch anführen, durch den einwandfrei Q als Bild von P festgestellt wird. Ich ließ mir ein Kreidestück auf den Boden einer geräumigen, bis oben mit Wasser gefüllten pneumatischen Wanne legen, nahm in geringer Entfernung von der Wanne einen festen Standpunkt ein und beobachtete mit einem Auge das Kreidebild. In der Hand hielt ich ein zweites Kreidestück, dessen Spiegelbild ich dicht auf das andere Kreidebild zu bringen suchte; durch Vorwärts- und Rückwärtsbewegen der Hand gelang das leicht. Sollte nun R das Bild von P sein, so müßte beim Öffnen des andern Auges statt des Bildes R plötzlich das mit beiden Augen gesehene Bild Q weit hinter dem Spiegelbild sichtbar werden. Das war nicht der Fall, sondern auch beim Sehen mit beiden Augen lag das Spiegelbild noch immer auf dem andern Kreidebild. Als ich nachher die Augen senkrecht über das in der unverrückten Hand gehaltene Kreidestück brachte, überzeugte ich mich, daß es genau senkrecht über dem im Wasser sich befand.

Bei meinem Suchen, ob meine Beobachtungen nicht von irgend einer Seite Bestätigung erhielten, fielen mir die Beilagen zu den beiden Jahresberichten 1903 und 1912 des Königstädt. Realgymnasiums zu Berlin von Opitz in die Hände. Wie ich aus ihnen ersah, hat schon im Jahre 1863 Beermann im 8. Band der Zeitschrift für Mathem. und Physik auf Grund der Beobachtung, daß auch beim Sehen mit einem Auge der aufrechte Stab aufrecht und nicht gekrümmt erscheint, darauf hingewiesen, daß nur das Bild Q von P aber nicht R zu sehen ist. Seine Erklärung hierfür scheint mir durchaus stichhaltig zu sein. Er macht auf folgendes aufmerksam: 1. alle von dem leuchtenden Punkt P ausgehenden Strahlen, die mit dem Einfallslot den Winkel φ einschließen (Fig. 2), bilden einen Kegelmantel mit der Spitze P; die nach der Brechung in die Pupille gelangenden Strahlen bilden ebenfalls den Teil eines Kegelmantels mit der Spitze Q; von Q scheinen alle diese unendlich vielen Strahlen herzurühren. 2. Je zwei unendlich nahe Strahlen PS und PS' in derselben Vertikalebene schneiden sich nach der Brechung, rückwärts verlängert, in R. — Das Ergebnis ist also, daß scheinbar von Q aus unendlich viele Strahlen ins Auge gelangen, scheinbar von R aus aber nur zwei, das Bild R ist also viel lichtschwächer als das Bild Q und wird deshalb überhaupt nicht wahrgenommen.

Der einzige Physiker, dem es durch einen im zweiten Jahrgang dieser Zeitschrift beschriebenen Versuch gelungen ist, auch das Bild R aufzufinden, ist Szymanski.

Er suchte das Bild eines unter Wasser befindlichen, hell erleuchteten Quecksilbertropfens durch ein Fernrohr auf und sah es je nach der Einstellung des Fernrohrs entweder bei Q oder bei R. Hier hat die Einstellung des Fernrohrs auf die Stelle R das Bild bei Q beseitigt. Szymanski gibt zwar nicht an, daß er das Bild R schwächer leuchtend gesehen hat als das Bild Q, doch ist das sicher anzunehmen.

Götting behauptet im 9. Jahrgang dieser Zeitschrift, daß wir den punktförmigen Körper P beim Sehen mit einem Auge weder in Q noch in R wahrnehmen, sondern einen bestimmten Ort gar nicht angeben und nur aussagen können, daß er in der Richtung OQ liegt. Das ist insofern richtig, als wir bei nicht hinreichenden Anhaltspunkten die Entfernung eines kleinen Körpers beim Sehen mit einem Auge nicht zu beurteilen vermögen, mag er sich in der Luft oder im Wasser befinden. Namentlich sind wir geneigt, ihn als Projektion auf eine Fläche, die in der Richtung des geschauten Gegenstandes vorhanden ist, wahrzunehmen. Ein in der Luft aufgehängtes Messingkügelchen, hinter dem ein weißer Schirm aufgestellt ist, erscheint beim Sehen mit einem Auge als gelber Kreis auf dem Schirm; ebenso erscheint es, unter Wasser aufgehängt, auf dem Spiegelbild eines weißen Papiers, das über die Wasserfläche gehalten wird, als gelber Kreis. Bei Betrachtung der vertikalen Kante AP (Fig. 3) eines Glaswürfels von oben her erschien mir diese Kante beim Sehen mit beiden Augen als vertikale Linie AQ, beim Sehen mit einem Auge als horizontale Linie AS, nämlich als Projektion von AQ auf die obere Würfelfläche. Sind dagegen hinreichende Anhaltspunkte vorhanden, so erscheint uns ein kleiner im Wasser befindlicher Gegenstand P beim Sehen mit einem Auge genau an derselben Stelle Q wie beim Sehen mit beiden Augen.

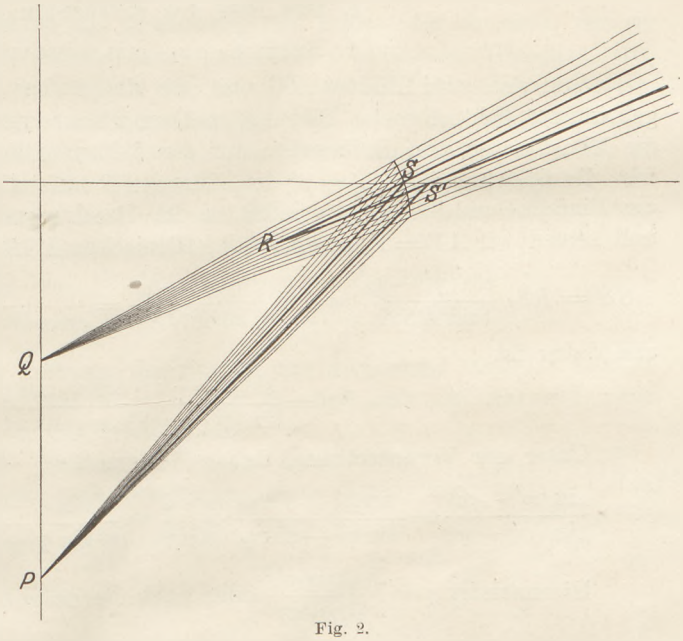


Fig. 2.

Obgleich ich mit der Behauptung, daß ein punktförmiger Körper beim monokularen wie beim binokularen Sehen nur gehoben aber nicht seitlich verschoben erscheint, nichts gebracht habe, was Beermann nicht schon vor mehr als 50 Jahren ausgesprochen und begründet hat, so habe ich doch länger hierbei verweilt in der Annahme, daß diese ausführliche Erörterung in einer hauptsächlich von Schulmännern gelesenen Zeitschrift dazu beitragen wird, die mit der Beobachtung nicht übereinstimmenden Figuren aus den Schulbüchern zu entfernen.

Was die Behandlung des Problems im Unterricht anbetrifft, so dürfte auf der Unterstufe nur das Sehen mit beiden Augen bei gerader Kopfhaltung zu berücksichtigen sein. Die Münze P (Fig. 3) erscheint gehoben, indem die beiden aus dem Wasser tretenden Strahlenbündel SO und $S'O'$, rückwärts verlängert, sich in Q schneiden. Will man auf der Oberstufe auch das Sehen mit einem Auge in Betracht ziehen, so ist die Tatsache, daß auch jetzt die Münze P nur gehoben erscheint, durch Fig. 2 zu erläutern, in der zwei Kegelmäntel mit den Spitzen P und Q gezeichnet sind; das Bild R, das man, weil zu lichtschwach, gar nicht sieht, bleibt am besten ganz unberücksichtigt. Eine Erörterung im Unterricht darüber, daß dem Lichtpunkt P nicht

nur ein Bildpunkt Q, sondern eine kurze Bildlinie entspricht, dürfte nicht wichtig genug sein; will man darauf eingehen, so ist den Schülern leicht klar zu machen, daß nicht nur für die Einfalls- und Brechungswinkel φ und ψ die beiden Strahlenkegel mit den Spitzen P und Q in Betracht kommen, sondern auch solche für die davon etwas verschiedenen Winkel φ' und ψ' mit den Spitzen P und Q'; sowohl die scheinbar von Q als von Q' ausgehenden Strahlen fallen in die Pupille des Auges.

Die folgenden Untersuchungen beschränken sich auf die Stabbilder. Die Lehrbücher, die von dem Bild eines schräg ins Wasser getauchten Stabes eine Zeichnung geben, stellen es geradlinig und das Bild zusammen mit dem außer Wasser befindlichen Teil des Stabes als gebrochene Linie dar, während nach meinen Beobachtungen das Stabbild mehr oder minder stark gekrümmt ist je nach der Stellung des Auges zum Stab und zur Wasserfläche (Fig. 7 und 8). Da auch sonst die Stabbilder manches Interessante bieten, lohnt sich ihre eingehendere Untersuchung. In jedem der folgenden Abschnitte wird zunächst die mathematische Behandlung gegeben, worauf die Ergebnisse der Rechnung mit denen der Beobachtung verglichen werden.

I. Das Bild des aufrechten Stabes.

1. Beim Sehen mit einem Auge.

Von den zwei Bildern AQ und AR des Stabes AP (Fig. 1) soll zunächst das gekrümmte lichtschwache Bild AR mathematisch untersucht werden. Bezeichnen wir die Koordinaten von R, bezogen auf die Achsen AF und AP, mit ξ und η, so wollen wir die Gleichung $f(\xi, \eta) = 0$ der Kurve AR aufstellen. Sind φ und ψ, φ' und ψ' die Einfalls- und Brechungswinkel, n der Brechungsexponent von Luft und Wasser, und setzen wir $AP = Y$, so ist in den Dreiecken RSS' und PSS' nach dem Sinussatz

$$SS' = RS \cdot \frac{\sin(\psi' - \psi)}{\sin RS'S} = PS \cdot \frac{\sin(\varphi' - \varphi)}{\sin PS'S} = \frac{\eta}{\cos\psi} \cdot \frac{\sin(\psi' - \psi)}{\cos\psi'} = \frac{Y}{\cos\varphi} \cdot \frac{\sin(\varphi' - \varphi)}{\cos\varphi'}$$

und daher ist

$$\eta = \frac{\sin(\varphi' - \varphi)}{\sin(\psi' - \psi)} \cdot \frac{\cos\psi \cdot \cos\psi'}{\cos\varphi \cdot \cos\varphi'} \cdot Y.$$

Unter der Voraussetzung, daß $\varphi' - \varphi$ und $\psi' - \psi$ unendlich klein sind, ist

$$\frac{\sin(\varphi' - \varphi)}{\sin(\psi' - \psi)} = \frac{\sin\varphi' - \sin\varphi}{\sin\psi' - \sin\psi} \cdot \frac{\cos\psi}{\cos\varphi} = \frac{\sin\varphi' - \sin\varphi}{n \cdot \sin\varphi' - n \cdot \sin\varphi} \cdot \frac{\cos\psi}{\cos\varphi} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\cos\psi}{\cos\varphi}.$$

Hiernach ist $\eta = \frac{Y}{n} \cdot \left(\frac{\cos\psi}{\cos\varphi}\right)^3$ oder nach Beseitigung von ψ

1) $$\eta = \frac{1}{n} \cdot Y \cdot \left(\sqrt{1 - (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2\varphi}\right)^3.$$

Da $\xi = AS - TS = Y \cdot \operatorname{tg}\varphi - \eta \cdot \operatorname{tg}\psi$ und $\operatorname{tg}\psi = n \cdot \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{1 - (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2\varphi}}$ ist, so ergibt sich

2) $$\xi = (n^2 - 1)\, Y \cdot \operatorname{tg}^3\varphi.$$

Eliminieren wir aus 1. und 2. $\operatorname{tg}\varphi$, so gelangen wir zur Gleichung

3) $$\left(\frac{\sqrt{n^2 - 1}}{Y} \cdot \xi\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{n}{Y} \cdot \eta\right)^{\frac{2}{3}} = 1.$$

Das ist die Gleichung der Evolute einer Ellipse mit den Halbachsen nY und $\sqrt{n^2 - 1}\, Y$, die als Diakaustik bekannt ist und hier nicht weiter interessiert.

Eliminieren wir aus 1. und 2. Y, so finden wir unter Berücksichtigung der Gleichung $\operatorname{tg}\psi = n \cdot \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{1 - (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2\varphi}}$ für η den Wert $\eta = \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot \frac{\xi}{\operatorname{tg}^3\psi}$.

Hat das Auge vom Stabe den Abstand a und von der Wasserfläche den Abstand b, so ist $a = AF = AT + FT = \xi + (b + \eta) \cdot \operatorname{tg} \psi$, also $\operatorname{tg} \psi = \frac{a - \xi}{b + \eta}$. Durch Einsetzen dieses Wertes in die Gleichung für η gelangen wir zur gesuchten Gleichung der Kurve AR

$$4) \qquad \frac{(b+\eta)^3}{\eta} = \frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{(a-\xi)^3}{\xi}.$$

Für $a = 60$ cm, $b = 12$ cm sind nach dieser Gleichung einige zusammengehörige Werte von ξ und η berechnet und ist hiernach die Kurve AR in Fig. 1 gezeichnet worden. Die Bildung des Differentialquotienten

$$5) \qquad \frac{d\xi}{d\eta} = \frac{n^2 \cdot \xi^2 \cdot (b+\eta)^2 (b - 2\eta)}{(n^2 - 1)\, \eta^2 \cdot (a - \xi)^2 (2\xi + a)}$$

lehrt, daß die Kurve für $\eta_0 = \frac{1}{2} b$ sich am weitesten von der Ordinatenachse entfernt, da ξ seinen größten Wert ξ_0 hat; im obigen Beispiel ist $\xi_0 = 23$ cm, $\eta_0 = 6$ cm.

In dem gewählten Beispiel ist die Krümmung des Bildes AR so stark, daß sie der Beobachtung nicht entgehen könnte, aber auch beim schärfsten Hinsehen wird nicht das lichtschwache Bild AR, sondern nur das lichtstarke Bild AQ beobachtet.

Da die lichtschwachen Bilder doch nicht sichtbar sind, sollen sie in den folgenden Untersuchungen ganz unberücksichtigt bleiben. Was das Stabbild AQ betrifft, so bietet sich dies auch beim Sehen mit beiden Augen und gerader Kopfhaltung dar. Da man mit beiden Augen schärfer sieht als mit einem, so soll eine Untersuchung des Bildes AQ dem nächsten Abschnitt vorbehalten bleiben.

2. Beim Sehen mit beiden Augen und gerader Kopfhaltung.

Wir nehmen an, daß alle Teilchen des Stabes von dem einen Auge O' ebensoweit entfernt sind wie vom andern Auge O (Fig. 3), daß also der Abstand jedes Auges sowohl vom Stab wie von der Wasserfläche gleich groß, $a' = a$, $b' = b$ ist. Ist $AP = Y$, $AQ = y$ und bezeichnen wir Einfalls- und Brechungswinkel mit φ und ψ, so ist $\operatorname{tg} \varphi = \frac{AS}{AP} = \frac{y \cdot \operatorname{tg} \psi}{Y}$, also $y = Y \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \psi}$.

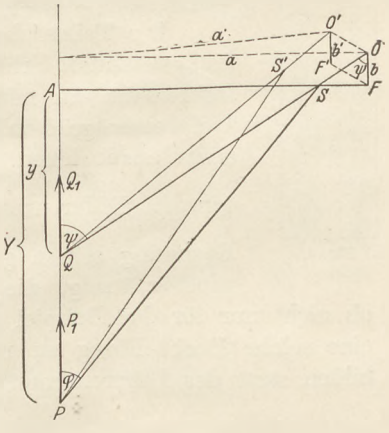


Fig. 3.

Beiläufig sei bemerkt, daß, wenn P einen Lichtpunkt bedeutet, der weißes Licht unter dem Winkel φ aussendet, sein Bild eine kurze farbige vertikale Linie von der Länge

$$y_r - y_v = \frac{Y}{\cos \varphi} \cdot \left(\frac{\sqrt{1 - n_r^2 \sin^2 \varphi}}{n_r} - \frac{\sqrt{1 - n_v^2 \sin^2 \varphi}}{n_v} \right)$$

ist, wo n_r und n_v die Brechungsexponenten des roten und violetten Lichtes für Luft und Wasser bedeuten.

Denn aus $\sin \psi = n \cdot \sin \varphi$ folgt $\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \varphi}}{n \cdot \cos \varphi}$. Hiernach erscheint ein weißer Faden unter Wasser bei hellem Tageslicht als schmales farbiges Band, unten mit rotem, oben mit violettem Rande, was man am bequemsten beim Baden feststellen kann. Im folgenden sollen diese farbigen Umsäumungen unberücksichtigt bleiben.

Da $a = AF = AS + FS = y \cdot \operatorname{tg} \psi + b \cdot \operatorname{tg} \psi$, also $\operatorname{tg} \psi = \frac{a}{b + y}$ ist und aus dem

Brechungsgesetz die Gleichung $\frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\varphi} = \sqrt{n^2 + (n^2-1)\operatorname{tg}^2\psi}$ folgt, so ergibt sich aus der Gleichung $Y = y \cdot \frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\varphi}$

6) $$Y = y \cdot \sqrt{n^2 + (n^2-1)\frac{a^2}{(b+y)^2}}.$$

Ebenso gilt für den Punkt P_1 des Stabes und seinen Bildpunkt Q_1 die Gleichung $Y_1 = y_1 \sqrt{n^2 + (n^2-1)\frac{a^2}{(b+y_1)^2}}$. Aus beiden Gleichungen läßt sich für jede Stablänge $PP_1 = Y - Y_1$ die zugehörige Bildlänge $QQ_1 = y - y_1$ und umgekehrt ermitteln. Für das Beispiel $a = 40$ cm, $b = 4$ cm ist mittels Gleichung 6) eine Anzahl zusammengehöriger Werte von Y und y berechnet und in Fig. 4 das Bild eines in cm geteilten Stabes auf Grund dieser Rechnung entworfen worden.

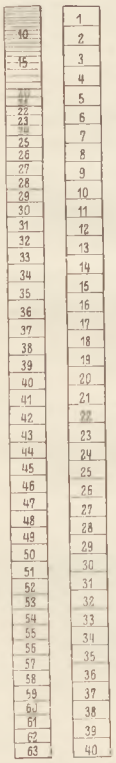


Fig. 4.

Um das Ergebnis der Rechnung durch die Beobachtung zu bestätigen, stellte ich einen in cm geteilten Stab, der unten einen Bleifuß hatte, auf den Boden der mit Wasser bis oben gefüllten Badewanne; hierauf ließ ich einen in cm geteilten Papierstreifen von einem über der Wanne ausgespannten Faden so herunterhängen, daß er gerade bis zur Wasserfläche reichte und sein Spiegelbild dicht neben dem Bild des Stabes zu sehen war. Die Ziffern auf dem Papierstreifen waren in Spiegelschrift geschrieben, um ein bequemes Ablesen zu ermöglichen. Als ich dann den Augen die Stellung 40 cm vom Stab, 4 cm von der Wasserfläche gegeben hatte, zeigte sich mir genau das in Fig. 4 dargestellte Bild; beispielsweise las ich neben der Zahl 31 des Stabbildes die Zahl 12 des Spiegelbildes, neben der Zahl 42 die Zahl 22 ab, d. h. der 42 cm lange Stab AP (Fig. 3, die für $a=40$, $b=4$ entworfen ist) erschien als 22 cm langer Stab AQ und der 31 cm lange Stab AP_1 als 12 cm langer Stab AQ_1; das Bild QQ_1 des 11 cm langen Stabteils PP_1 war 10 cm lang.

Die Teilstriche des Stabbildes, die nahe der Wasserfläche dicht gedrängt standen, erhielten in größerer Tiefe allmählich größeren Abstand. Interessant war mir die Beobachtung, daß dieser Abstand etwa in 19 cm Tiefe einen größten Wert annahm, um dann in noch größerer Tiefe wieder etwas abzunehmen. Das steht in Einklang mit der Rechnung, denn bilden wir den Differenzenquotient $\frac{y - y_1}{Y - Y_1}$ für $y - y_1 = 1$, so hat er nach der Rechnung seinen größten Wert 0,93 für $y = 19$; in dieser Tiefe stehen, wie Fig. 4 zeigt, die Teilstriche am weitesten auseinander. Um festzustellen, ob nicht nur für das Beispiel $a = 40$ cm, $b = 4$ cm, sondern bei jeder Augenstellung eine solche Beobachtung zu machen ist, behandeln wir den allgemeinen Fall und bilden statt des Differenzenquotienten den Differentialquotient

7) $$\frac{dy}{dY} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{n^2-1}{n^2}\frac{a^2}{(b+y)^2}}}{1 + \frac{n^2-1}{n^2}\frac{a^2}{(b+y)^2}\cdot\frac{b}{b+y}}.$$

Für $y = \infty$ ist $\frac{dy}{dY} = \frac{1}{n} = 0{,}75$, d. h. in großer Tiefe erscheint 1 cm eines aufrechten Stabes annähernd 0,75 cm lang. Das Maximum von $\frac{dy}{dY}$ erhalten wir für den

Wert y_0 von y, der der Gleichung $\frac{d^2y}{dY^2}=0$ genügt. Die Rechnung, die hier nicht durchgeführt werden soll, ergibt, daß y_0 die kubische Gleichung

$$y^3 - 3b^2y - 2b\cdot\left(b^2 + \frac{n^2-1}{n^2}\,a^2\right)=0$$

befriedigen muß, d. h. die Teilstriche haben ihren größten Abstand in der Tiefe

8) $$y_0 = b\cdot\left\{\sqrt[3]{1+\frac{n^2-1}{n^2}\left(\frac{a}{b}\right)^2 + \frac{\sqrt{n^2-1}}{n}\cdot\frac{a}{b}\cdot\sqrt{2+\frac{n^2-1}{n^2}\left(\frac{a}{b}\right)^2}}\right.$$
$$\left. + \sqrt[3]{1+\frac{n^2-1}{n^2}\left(\frac{a}{b}\right)^2 - \frac{\sqrt{n^2-1}}{n}\,\frac{a}{b}\sqrt{2+\frac{n^2-1}{n^2}\left(\frac{a}{b}\right)^2}}\right\}$$

z. B. für $a=40$ cm, $b=4$ cm ist $y_0=18{,}824$ cm und $\mathrm{Max}\,\frac{dy}{dY}=0{,}9293$.

Mit diesem Ergebnis steht eine Beobachtung, die ich beim Baden in einer tiefen Wanne machte, im Widerspruch. Als ich meinen Fingerring von oben nach unten durch die Wassermasse führte, erwartete ich, daß das Ringbild, das dicht unter der Wasserfläche viel niedriger als breit war, allmählich zwar an Höhe zunehmen aber in keiner Wassertiefe so hoch oder gar höher als breit sein würde. Statt dessen beobachtete ich, daß der Ring schon in geringer Tiefe kreisförmig und am Boden der Wanne viel höher als breit erschien. Die Finger der Hand behielten zwar ihre Länge erschienen am Boden aber unförmlich breit, so daß die Hand ein unnatürliches Aussehen erhielt. Die Erklärung des Widerspruchs gegen die Ergebnisse der Rechnung ist wohl hauptsächlich darin zu finden, daß ich das Ringbild irrtümlich in der Tiefe annahm, in der der Ring selbst sich befand, und deshalb seine Entfernung von meinen Augen überschätzte.

3. beim Sehen mit zwei Augen und schiefer Kopfhaltung.

Bei Beobachtung des aufrechten Stabes mit beiden Augen ist im 2. Abschnitt die Annahme gemacht worden, daß jedes Auge zu den einzelnen Punkten des Stabes dieselbe Stellung habe, $a'=a$ und $b'=b$ sei (Fig. 3). Diese Stellung ist die ungezwungene, denn wir halten unwillkürlich den Kopf so, daß die Verbindungslinie OO' der Augen horizontal, also $b'=b$ ist und geben ihm eine solche Wendung, daß auch $a'=a$ ist. Halten wir dagegen mit Absicht den Kopf schief, so daß die Bedingung $a=a'$, $b=b'$ nicht erfüllt ist, so wird irgend ein Punkt P des Stabes dem Auge O in Q, dem Auge O' in Q' erscheinen. Die Lage der Bildpunkte Q und Q' erhalten wir nach Gleichung 1, mittels der beiden Gleichungen

9) $$Y = y\cdot\sqrt{n^2+(n^2-1)\cdot\frac{a^2}{(b+y)^2}} = y'\cdot\sqrt{n^2+(n^2-1)\cdot\frac{a'^2}{(b'+y')^2}}.$$

Ist beispielsweise die Verbindungslinie OO' der Augen vertikal (Fig. 5), also $a'=a$ und $b'=b+l$, wo $l=6$ cm den Pupillenabstand bedeutet, wählt man ferner $a=60$ cm, $b=12$ cm, $Y=26{,}5$ cm, so lauten hierfür die Gleichungen 9

$$26{,}5 = 9{,}5\cdot\sqrt{\frac{16}{9}+\frac{7}{9}\left(\frac{60}{12+9{,}5}\right)^2} = 12\cdot\sqrt{\frac{16}{9}+\frac{7}{9}\left(\frac{60}{18+12}\right)^2},$$

d. h. der Punkt P des Stabes in 26,5 cm Tiefe erscheint doppelt und zwar dem einen Auge O in 9,5 cm Tiefe, dem andern Auge O' in 12 cm Tiefe.

Dies konnte ich leicht durch den Versuch bestätigen. Befestigte ich in 26,5 cm

Tiefe an dem aufrechten Stab mittels Wachs ein Stiftchen P und brachte die Augen zunächst in die Stellung, für die $a = a' = 60$ cm, $b = b' = 12$ cm ist, so erblickte ich nur eine Bildmarke Q in 9,5 cm Tiefe. Sobald ich aber eine Drehbewegung des Auges O' um das Auge O vornahm, trennte sich von dem Bildchen Q ein zweites Q' und bewegte sich nach unten oder oben, je nachdem die Drehbewegung nach oben oder unten erfolgte. Mit Hilfe des in Fig. 2 abgebildeten Spiegelbildes des über dem Wasser aufgehängten Papierstreifens konnte ich feststellen, daß bei der vertikalen Augenstellung OO' der Fig. 5 das eine Bild des Stiftchens in der Mitte des 9. und 10. Teilstrichs, das andere beim 12 Teilstrich erschien. Durch Schließen des einen oder des andern Auges konnte ich feststellen, welches Bild von dem einen Auge, welches von dem andern gesehen wird.

Die Linien OQ und $O'Q'$ sind im allgemeinen zwei sich kreuzende Linien. Sie schneiden sich, falls das Auge O' sich in der durch das Auge O und den Stab AB gelegten Vertikalebene befindet, wie beispielsweise in Fig. 5, wo OO' vertikal, also parallel zu AB gerichtet ist. Bei dieser Augenstellung liegt die Möglichkeit vor, daß das in P befestigte Stiftchen nicht doppelt gesehen wird in Q nnd Q', sondern einfach im Schnittpunkt R von OQ und $O'Q'$, und daß infolgedessend er gerade Stab APB als das gekrümmte Stabbild ARC sich den Augen darbietet. Hat Punkt R die Koordinaten ξ und η, bezogen auf die Koordinatenachsen AF und AB, so soll jetzt die Gleichung $F(\xi, \eta) = 0$ der Kurve ARC ermittelt werden. Für R als Schnittpunkt der Geraden OQ und $O'Q'$ gelten die Gleichungen

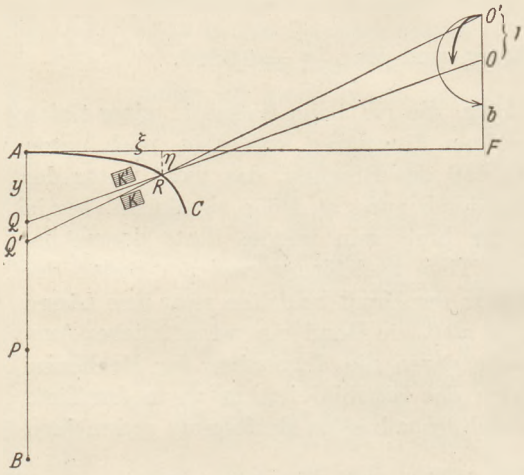


Fig. 5.

$$10) \qquad \eta - y = -\frac{b+y}{a}\cdot\xi \qquad \eta - y' = -\frac{b'+y'}{a'}\cdot\xi, \text{ und daher ist}$$

$$11) \qquad y = \frac{a\eta + b\xi}{a-\xi} \qquad y' = \frac{a'\eta + b'\xi}{a'-\xi}.$$

Setzen wir diese Werte für y und y' in Gleichung 9 ein, so gelangen wir zur gesuchten Gleichung der Kurve ARC

$$12) \qquad \left(\frac{n^2}{(a-\xi)^2} + \frac{n^2-1}{(b+\eta)^2}\right)\cdot(a\eta + b\xi)^2 = \left(\frac{n^2}{(a'-\xi)^2} + \frac{n^2-1}{(b'+\eta)^2}\right)\cdot(a'\eta + b'\xi)^2.$$

In Fig. 5 ist die Kurve für den Fall $a' = a$, $b' = b + l$, d. h. für den Fall, daß die Verbindungslinie OO' beider Augen vertikal ist, dargestellt. Für $a = 60$, $b = 12$, $b' = 18$ sind oben als Beispiel schon $y = 9{,}5$ $y' = 12$ als zu $Y = 26{,}5$ gehörig mittels der Gleichungen 9 gefunden worden, hieraus ergeben die Gleichungen 10 die Werte $\xi = 17{,}6$, $\eta = 3{,}2$. Auf diese Weise ist die Lage einer Anzahl Kurvenpunkte berechnet und danach die Kurve ARC gezeichnet worden.

Wenn wir uns jetzt zu den Ergebnissen der Beobachtung wenden, so muß ich bemerken, daß, als ich bei meinem ersten Versuch der Verbindungslinie meiner Augen die vertikale Stellung Fig. 5 gegeben hatte, ich zunächst die beiden Bildmarken in Q und Q', aber nicht statt ihrer die Bildmarke in R gesehen hatte. Ebensowenig hatte ich ein gekrümmtes Stabbild beobachtet, jedenfalls nicht darauf geachtet, da ich bei diesem ersten Versuch die Möglichkeit eines solchen Bildes noch nicht in Be-

tracht gezogen hatte. Ehe ich den Versuch wiederholte, stellte ich folgenden Vorversuch an:

Zwei gleich große Scheibchen Q und Q' aus weißem Papier (Fig. 5), die mittels Fäden in gleicher Höhe in der Luft aufgehängt waren, beobachtete ich, indem ich meinen Augen O und O' solche Stellung in derselben Höhe gab, daß OO' parallel QQ' war und von QQ' den Abstand 60 cm hatte. Aufgestellte Holzklötze K und K' bewirkten, daß O nur das Scheibchen Q, O' nur das Scheibchen Q' sehen konnte. Der Abstand QQ' war 2,5 cm. Beim Sehen mit beiden Augen erschien ein Bild in R, dessen Abstand ξ von QQ' sich leicht messen und gleich 17,6 cm bestimmen ließ in Übereinstimmung mit der Rechnung $(2{,}5 : 6 = \xi : (60 - \xi),\ \xi = 17{,}6)$. Rückte ich die beiden Scheibchen weiter auseinander, so gelang die Vereinigung zu einem Bild weniger leicht und schließlich gar nicht mehr. (Beiläufig bemerke ich, daß, als ich die beiden weißen Scheibchen durch ein blaues und ein gelbes ersetzte, die Vereinigung zu einem Bild ebenfalls wenn auch schwieriger gelang, die Bildfarbe aber nicht etwa die Mischfarbe, sondern bald blau bald gelb war.)

Nach diesem Vorversuch betrachtete ich noch einmal den aufrechten Stab APB bei der Kopfhaltung OO' (Fig. 5). Jetzt gelang es mir unschwer, das stark gekrümmte Stabbild ARC aufzufinden. Das in P in der Tiefe von 26,5 cm angeklebte Stiftchen erschien jetzt nicht doppelt in Q und Q', sondern einfach in R. Mit Hilfe des Spiegelbilds (Fig. 2) des Papierstreifens, den ich in 17,6 cm Entfernung vom Stab aufhängte, konnte ich die Lage des Bildes in R in Übereinstimmung mit der durch Rechnung gefundenen Lage ($\xi = 17{,}6$ cm, $\eta = 3{,}2$ cm) feststellen.

Betreffs des Bildpunktes R von P ist eine Stelle in der Programmarbeit 1903 von Opitz bemerkenswert: „Man hat die Behauptung ausgesprochen, man nehme das Bild eines leuchtenden Punktes in der Diakaustik wahr, wenn die Medionalebene des Kopfes senkrecht zur Vertikalebene gestellt wird. Eine derartige Beobachtung habe ich nicht machen können.“ Aus dieser Stelle ersehen wir einmal, daß es Opitz ebensowenig wie mir bei meinem ersten Versuch gelungen ist, bei der Stellung OO' der Augen (Fig. 5) R als Bildpunkt von P wahrzunehmen, sodann daß andere Beobachter R zwar als Bildpunkt von P gesehen, ihn aber mit dem Bildpunkt R von P der Fig. 1 verwechselt haben.

Als ich die in Fig. 5 dargestellte Drehbewegung des Auges O' um das Auge O in der durch AB und O bestimmten Vertikalebene ausführte, beobachtete ich, wie das stark gekrümmte Stabbild ARC sich allmählich aufrichtete. Das steht im Einklang mit den mathematischen Ergebnissen; auch nach ihnen rückt bei der Drehbewegung Punkt Q' näher an Punkt Q und daher der Schnittpunkt R von OQ und $O'Q'$ näher an die Vertikale AB heran.

Bei jeder andern Drehbewegung des Auges O' um das Auge O z. B. in der zur Ebene ABO senkrechten Ebene (in Fig. 5 angedeutet) erwartete ich, statt des einfachen Bildpunktes R von P wieder die beiden Bildpunkte Q und Q' auftreten zu sehen, denn jetzt schnitten sich ja die Geraden OQ und $O'Q'$ nicht mehr, sondern kreuzten sich, allerdings bei sehr geringem Abstand. Zu meiner Überraschung sah ich auch jetzt nur ein Bild R von P, und das Stabbild zeigte sich gekrümmt. Erst als ich mir beim Sehen einen förmlichen Zwang auferlegte, gelang es mir, die beiden Bildmarken Q und Q' statt des Bildes R aufzufinden, die aber starke Neigung zeigten, sich zu einem Bilde R zu vereinigen. Der Eindruck des gekrümmten Stabbildes ist also in meinem Bewußtsein ein so zäher und nachhaltiger gewesen, daß er auch bei anderer Augenstellung sich nicht wieder verwischen ließ.

(Schluß folgt.)

Biblioteka Gdańskiego Uniwersytetu

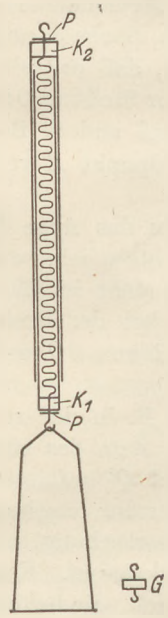
Kleine Mitteilungen.

Eine Federwage für einfache Schülerversuche zur Selbstanfertigung.

Von **Rud. Suchanek** in St. Pölten (Niederösterreich).

Im Maiheft 1916 beschreibt P. Wangemann einfache Frontversuche zur Einführung in die Wärmelehre. Durch diesen Aufsatz wurde ich veranlaßt, in der Vorbereitungsklasse des Lehrerseminars ähnliche Versuche durchzuführen. Wangemann benützt bei seinen Versuchen Briefwagen mit einem Meßbereich von 50 g. Da es mir nicht gelang, passende Briefwagen um einen annehmbaren Preis aufzutreiben, so verfiel ich darauf, die Zeigerwage durch eine Federwage zu ersetzen. Nach einigem Probieren gelang es mir, ein brauchbares Modell herzustellen, nach welchem dann die nötige Anzahl (10 Stück) von zwei mit solchen Arbeiten vertrauten Schülern angefertigt wurde. Die Wagen sind seit September 1916 bei den Übungen in Gebrauch und haben sich gut bewährt. Alle von Wangemann angegebenen Versuche lassen sich damit anstellen. Außerdem scheint mir die Wage handlicher als eine Zeigerwage; der größte Vorteil ist aber, daß ihre Anfertigung sehr einfach ist und fast nichts kostet.

Man geht dabei in folgender Weise vor: Ein Stahldraht von 0,4 mm Durchmesser (Zithersaitendraht) wird auf einem Dorn (Eisenstift) von 7 mm Durchmesser in 60 eng aneinanderliegenden Windungen recht fest und gleichmäßig auf der Drehbank aufgewickelt, wobei man gerade Enden von etwa 4 cm Länge stehen läßt. Hat man keine Drehbank zur Verfügung, so besorgt diese Arbeit in kurzer Zeit und gegen geringes Entgelt jeder Mechaniker. Nach Abnahme von dem Dorn nehmen die Windungen einen Durchmesser von 10 bis 11 mm an und ihre Anzahl verringert sich dabei auf etwa 40. Die geraden Enden biegt man mit einer kleinen Flachzange so um, daß sie in der Verlängerung der Schraubenachse stehen. Dann zieht man die Feder, indem man sie an den Enden erfaßt, unter öfterem Probieren so weit aus, daß sie beim Zurückgehen eine Länge von ungefähr 17 cm (ohne die geraden Enden) annimmt.



Nun braucht man noch zwei ineinander passende Papierhülsen, die sich ohne Reibung ineinander verschieben lassen. Dafür sucht man sich zwei Glasröhren von 14 und 16 mm äußerem Durchmesser. Die engere dient als Form für die innere, die weitere für die äußere Hülse. Nun schneidet man aus gewöhnlichem weißen Schreibpapier Blätter von 24×19 cm Größe zurecht. Aus jedem Blatt fertigt man eine solche Hülse an, indem man es auf die Glasröhre recht gleichmäßig aufwickelt und am äußeren Rande mit Natronwasserglas recht eben zusammenklebt, so daß ein 19 cm langes Papierrohr entsteht. Die äußere Hülse erhält noch des besseren Aussehens wegen einen Überzug aus schwarzem Papier oder dunkler Buchbinderleinwand. Man läßt die Hülsen bis zum völligen Trocknen auf den Glasröhren, damit sie ihren kreisrunden Querschnitt beibehalten.

Nach Abnahme von den Glasröhren erfolgt das Einsetzen der Schraubenfeder in die Hülsen. Zu diesem Zwecke schneidet und feilt man sich für jede Wage zwei etwa 10 cm lange Korke zurecht, von denen der eine in die äußere, der andere in die innere Hülse gerade noch hineinpaßt. Ferner schneidet man aus dünnem Messing- oder Weißblech ($\sim 0{,}5$ mm) runde Plättchen von ungefähr 14 mm Durchmesser zurecht und versieht jedes in der Mitte mit einem Loch von 0,5 mm Weite. Mittels einer Nähnadel sticht man in jeden Kork ein axiales Loch. Durch das Loch des Korkes (K_1) für die innere Hülse zieht man jetzt das gerade Ende des Schraubendrahtes hindurch, setzt den letzteren in die zu dem Kork gehörige Hülse

ein und klebt ihn darin mit Syndetikon fest. Nun schiebt man das Ganze in die äußere Hülse ein, zieht das noch freie Ende der Feder durch den zweiten Kork (K_2) und klebt auch diesen ein. Damit sich der Strahldraht in den Korken nicht verschieben kann, wird außen auf jeden Kork noch eines der Blechplättchen (P) aufgesetzt und mit dem Strahldraht verlötet. Dabei ist darauf zu achten, daß die erste und letzte Schraubenwindung an den Korken fest anliegen. Die aus den Korken herausragenden Enden des Drahtes werden zu Häkchen umgebogen, von denen das obere zum Aufhängen der Wage an einem Stativarm, das untere zur Aufnahme der Wagschale dient.

Diese ist bei unseren Wagen ganz aus Aluminium hergestellt. Aus 0,3 mm starkem Aluminiumblech wurden Scheiben von 7,5 cm Durchmesser mit der Blechschere ausgeschnitten, rund gefeilt, gerade geklopft und an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen, 3 mm vom Rande mit je einem 2 mm weiten Loch versehen. Von 2 mm starkem Aluminiumdraht wurde für jede Wagschale ein 32 cm langes Stück abgezwickt und nach der Figur gebogen. Die Enden des Drahtes wurden in die beiden Löcher der Scheibe eingesetzt und gut verklopft. Sie halten sehr fest in der Blechscheibe. Der Bügel ist absichtlich recht hoch gehalten (15 cm), damit man auch höhere Bechergläser auf der Wagschale unterbringen kann. Allerdings erfordert dadurch die Wage ein ziemlich hohes Stativ. (Die ganze Länge der Wage samt Schale beträgt, wenn die Wage auf 50 g zeigt, ungefähr 50 cm.) Das Gewicht der Wagschale beträgt 6 g. Bei Wägungen angehängter Körper in Flüssigkeiten und anderen Versuchen, bei welchen die Wagschale entbehrlich ist, wird diese durch ein ebenso schweres mit zwei Häkchen versehenes Gewichtchen G ersetzt.

Bevor man an die Eichung geht, muß man sich überzeugen, ob bei angehängter Wagschale die innere Hülse frei in der äußeren hängt und sich in ihr ohne Reibung bewegt. Hülsen, die ihre zylindrische Form durch Verziehen verloren haben, müssen, wenn sie sich nicht ausrichten lassen, durch neue ersetzt werden; desgleichen Federn von fehlerhafter Wicklung. Sollte die Schraubenfeder etwas zu kurz sein, so daß sie die innere Hülse gegen den oberen Kork andrückt, so muß die Feder noch etwas verlängert werden. Man zieht zu diesem Zwecke die Feder ein klein wenig über die Elastizitätsgrenze aus, bis die Hülsen frei in einander hängen. Das Ausziehen muß sehr vorsichtig unter öfterem Probieren geschehen, weil man durch zu starkes Dehnen der Feder die ganze frühere Arbeit verderben würde.

Das Eichen wird in folgender Weise vorgenommen: Man hängt die Wage samt Schale an den Arm des Ständers, überzeugt sich, daß die Hülsen sich nicht reiben und markiert an der inneren Hülse die Stellung des unteren Randes der äußeren durch einen Bleistiftstrich. Sodann belastet man die Schale mit 50 g und markiert die neue Stellung wie früher. Der Abstand dieser Fundamentalpunkte beträgt bei unseren Wagen ungefähr 80 bis 90 mm. Die Teilung in einzelne Gramme kann mit Vorteil auf geometrischem Wege erfolgen. Man zählt auf einem Blatt Millimeterpapier 50 mm ab und bezeichnet die erste und letzte Linie mit 0 und 50. Dann nimmt man den Abstand der beiden Bleistiftmarken in den Zirkel, setzt irgendwo auf Linie 0 ein (Punkt A) und schneidet auf Linie 50 ab (Punkt B). Die beiden Punkte A und B verbindet man durch einen geraden Bleistiftstrich und schneidet längs desselben das Papier mit der Schere durch. Längs AB hat man jetzt eine recht genaue Teilung des Fundamentalabstandes in 50 gleiche Teile, die man auf die innere Hülse überträgt, indem man das Millimeterpapier an die Hülse anhält und mit einem recht harten und spitzen Bleistift neben jedem Teilstrich einen recht scharfen Punkt macht. Mit Hilfe des unteren Randes der äußeren Hülse verlängert man sodann die Marken zu Strichen, die von 10 zu 10 mit Ziffern bezeichnet werden. Die auf diese Weise erhaltene Grammteilung wird noch durch Stichproben verifiziert;

sie erweist sich in der Regel sehr genau. Da jeder Teil 1,6 bis 1,8 mm lang ist, so lassen sich noch halbe Gramme gut abschätzen.

Beim Auflegen von Gewichten oder Anhängen von Körpern halte man die linke Handfläche unter die Wagschale, um eine Überlastung der Wage zu vermeiden.

Der Torricellische Versuch und die direkte Messung des Luftdruckes.

Von Hauptmann **Viktor Naderer**, Lehrer an der Kadettenschule in Innsbruck.

Da ein auf geschichtlicher Grundlage durchgeführter Unterricht in Physik ungleich mehr Interesse für die Schüler hat und denselben bei diesem Vorgang nicht die fertige Wahrheit, losgelöst von aller Entwicklung wie ein Wunder, sondern ihr allmähliches Entstehen vorgeführt wird, so erweist sich unter anderem beim Torricellischen Versuch der Hinweis auf die Ansicht über den *horror vacui* sehr lehrreich.

Nach der gewöhnlichen Erzählung sollen Florentiner Brunnenmacher bei Anlage von Saugpumpen bemerkt haben, daß das Wasser nicht höher als etwa 18 braccia (10 m) gehoben werden konnte. Wurde der Kolben höher gehoben, so folgte das Wasser nicht mehr, sondern blieb unter demselben in unveränderlicher Höhe stehen, was bis auf Torricelli dem *horror vacui* zugeschrieben wurde.

Fig. 1.

Dieses Abreißen einer Wassersäule läßt sich im Lehrsaale allerdings nicht zeigen, jedoch die Schlußfolgerung Torricellis, nach welcher das 13,6 mal schwerere Quecksilber nur eine 13,6 mal geringere Höhe wie das Wasser erreichen könne, kann an einem leicht herzustellenden Apparat vorgeführt werden.

Eine etwa 1,50 m lange, gleichweite, nicht zu schwache Glasröhre R (Fig. 1), wenn tunlich von 1 cm² Querschnitt, wird lotrecht in ein Gefäß G mit Quecksilber gestellt. In diese Glasröhre schiebt man einen Kolben K, den man an einem über 1,50 m langen etwa 2 mm dicken Eisendraht D angeschraubt hat. Der Kolben (Fig. 2) besteht aus einem nicht zu dünnen Lederplättchen (am besten sämisch gegerbtes Hammelleder), welches man mit einem scharfen Korkbohrer von etwa 6 mm größerem Durchmesser als jener der Glasröhre ausschneidet. Am unteren Ende des Drahtes D schneidet man ein Gewinde und schraubt zuerst ein etwa 1 mm dickes Eisenplättchen P_1 fest. Hierauf schiebt man das in der Mitte durchbohrte Lederplättchen L auf, dann das Eisenplättchen P_2, dessen Durchmesser nur wenig kleiner als der der Glasröhre ist, während jener von P_1 je nach Lederdicke kleiner sein muß. Zur Versicherung des Ganzen dient die Schraubenmutter M.

Man durchfeuchtet erst das Lederplättchen mit Wasser und steckt den Kolben hierauf in das Rohr eines Korkbohrers, der den gleichen Durchmesser wie die Glasröhre hat. Hierbei stülpt sich das Leder um und bleibt nach dem Trockenwerden in dieser Lage, worauf der Kolben aus dem Korkbohrer entfernt werden kann und gebrauchsfertig ist.

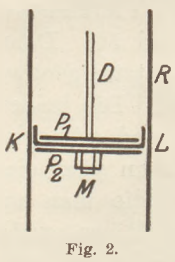


Fig. 2.

Hält man nun während des Einschiebens des Kolbens die untere Öffnung der Glasröhre zu, so entweicht erst die Luft und schließlich tritt ein wenig Quecksilber (3—5 cm³ genügen) über den Kolben. Zieht man jetzt den Kolben hoch, so bildet sich durch das über dem Kolben befindliche Quecksilber ein vollkommen luftdicht schließender Kolben, der es ermöglicht, das Quecksilber aus dem Gefäß bis zum jeweiligen Barometerstand folgen zu lassen. Hierbei schadet es nichts und beeinflußt die Höhe der Quecksilbersäule nicht, falls infolge nicht vollkommener Dichtung des Leders L feine Quecksilbertröpfchen durchgedrückt werden. Wichtig ist, daß man

beim Abwärtsschieben des Kolbens trachtet, alle etwa unter dem Kolben befindliche Luft nach oben zu verdrängen.

Es ist für die Schüler sehr lehrreich, beobachten zu können, daß das Quecksilber trotz stetigen Höherziehens des Kolbens nicht über eine bestimmte Höhe folgt, und daß sich der Raum zwischen Kolben und Quecksilber als luftleer erweist. Denn läßt man den Kolben los, so wird er durch den von oben wirkenden Luftdruck mit ziemlicher Wucht auf das Quecksilber geschleudert, das erst vom Augenblick des Auftreffens des Kolbens zu sinken beginnt.

Daß nicht der *horror vacui*, sondern der Luftdruck die Ursache der Hebung der Quecksilbersäule ist, die dem hochgehenden Kolben nicht folgt, läßt sich noch mehr erhärten, wenn man

1. durch rasches Hinaufziehen des Kolbens zeigt, daß das Quecksilber dann über die früher erreichte Höhe hinausschwingt und um diese Lage pendelt, daß sich also das hochgetriebene Quecksilber in einem sich allmählich ausgleichenden Gleichgewichtszustand mit der drückenden Luft befindet.

2. Man steckt die Röhre R durch den einen Hals einer Woulfeschen Flasche W (Fig. 3) (möglichst klein!). Der andere Hals ist durch eine Hahnröhre H vollkommen luftdicht abgeschlossen. Füllt man vorher etwas Quecksilber in die Flasche und hat man durch abwechselndes Hochziehen des Kolbens bei geöffnetem Hahn und Niederdrücken bei geschlossenem Hahn wieder etwas Quecksilber als Dichtungsverschluß über den Kolben gebracht (man kann es auch von oben in die Röhre R eingießen), so kann man den früheren Versuch wiederholen, wenn man den Hahn H geöffnet hält und dadurch den Luftdruck ungehindert wirken läßt. Schließt man den Hahn aber vor dem Hochziehen des Kolbens, oder saugt man gar durch die Hahnröhre etwas Luft aus, so wird natürlich das Quecksilber durch den unzureichenden Luftdruck weniger hoch gehoben, schwingt aber beim raschen Emporziehen des Kolbens ebenfalls um eine Gleichgewichtslage, jedoch die dem jeweiligen Luftdruck entsprechende, und folgt dem Kolben auch bei noch so hohem Heben nicht. Hält man den Kolben nun in dieser hohen Lage und öffnet man jetzt den Hahn H, so wird das Quecksilber augenfällig bis zur Höhe des Barometerstandes emporgetrieben.

Fig. 3.

Dieses Höhergehobenwerden des Quecksilbers nach Öffnen des Hahnes wird auch bei den schwächsten Schülern volles Verständnis für die wahre Ursache hierfür, den unsichtbaren Luftdruck, anbahnen, und die Erklärung des Quecksilberbarometers wesentlich erleichtern.

Die Größe des Luftdruckes kann aus der Höhe des Quecksilbers leicht berechnet werden, namentlich wenn der Querschnitt der Röhre 1 cm² beträgt. Aber auch eine direkte Messung des Luftdruckes läßt sich (in ähnlicher Weise wie die von Otto von Guericke beschriebene) an dieser Röhre durchführen. Hierzu bringt man ungefähr 1,50 m oberhalb der Glasröhre (Fig. 4) 2 Rollen mit Schnurlauf R_1 und R_2 an, über welche man eine Schnur führt, an deren einem Ende der Draht D des Kolbens, an deren anderem eine Wagschale W hängt. Hierauf führt man folgende zwei Versuche aus:

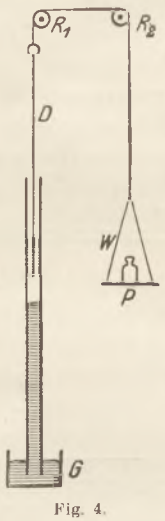


Fig. 4.

1. Man bringt wieder etwas Quecksilber über den Kolben (etwa 3—5 cm³) und merke sich dieses Volumen V, das lediglich als Dichtungsverschluß dient. Belastet man nun die Wagschale immer mehr, so wird nach Erreichung des Barometerstandes

bei einer vorsichtigen Weiterbelastung der Kolben schließlich in gleichförmiger Bewegung nach aufwärts gezogen. Das Gewicht P überwindet also den nur einseitig wirkenden Luftdruck (Barometerstand) b und den Gesamtreibungswiderstand R

$$P = b + R.$$

2. Hebt man nun die Glasröhre R oder senkt man das Gefäß G so weit, daß das Quecksilber ausfließen kann, so würde der Kolben sofort gleichförmig beschleunigt nach oben gezogen werden, da nun der Luftdruck nicht mehr einseitig von oben wirkt, sondern sich in seiner Wirkung von oben und unten aufhebt. Hält man aber den Kolben fest und drückt ihn ziemlich tief herab, so kann man nach Eingießen von Quecksilber mittels eines kleinen Trichters oberhalb des Kolbens einen Druck p auf den Kolben erzeugen, der um die Größe der früheren Reibung R kleiner ist, als das Gewicht P der Wagschale, dann wird auch in diesem Falle eine gleichförmige Aufwärtsbewegung des Kolbens stattfinden. (Die durch die höhere Quecksilbersäule bedingte Reibung zwischen dem Quecksilber und der Rohrwandung kann man vernachlässigen.) Es ist dann

$$P = p + R \text{ und von früher } P = b + R.$$

Daher ist das Gewicht p des Quecksilbers oberhalb des Kolbens gleich dem Luftdruck b (Barometerstand).

Man braucht also nur das Quecksilber aus der Röhre zu gießen und abzuwägen und hiervon das Volumen V des bei 1. verwendeten Dichtungsverschlusses abzuziehen, so erhält man die direkte Größe des Luftdruckes.

Die Höhe des Quecksilbers oberhalb des Kolbens entsprach natürlich dem Barometerstand + der Höhe des Dichtungsverschlusses.

Einfache Methode zur Messung des Ausdehnungskoeffizienten für Flüssigkeiten und Luft.

Von Prof. **Dr. A. Wendler** in Erlangen.

Es liegt nahe und ist bereits verschiedentlich versucht worden, die Meldesche Röhre, deren Vorteile ganz besonders beim Nachweis des Mariotteschen Gesetzes in die Augen springen, auch zur Messung des Ausdehnungskoeffizienten von Luft zu verwenden. Für Flüssigkeiten eignet sich aber die Melderöhre in der gewöhnlichen Ausführung nicht, da man hier, um gut meßbare Ausdehnungen zu erhalten, die Erwärmung bis zum Siedepunkt steigern muß, was die gewöhnlich dickwandigen Röhren nicht vertragen. Die nachfolgend beschriebene Anordnung eignet sich in gleicher Weise für Luft wie für Flüssigkeiten. Ein 40 cm langes dünnwandiges Rohr von 1,5 bis 2 mm innerem Durchmesser wird etwa zu $^3/_4$ mit der Flüssigkeit gefüllt, was durch Ansaugen mit dem Mund bzw. bei Quecksilber mit der Wasserluftpumpe geschieht. Diese nunmehr gefüllte Röhre (Fig. 1) wird horizontal in ein T-Rohr geschoben, dessen längerer horizontaler Teil 35 cm beträgt, bei einem Durchmesser von ca. 1 cm (Fig. 2). Das kürzere Ansatzstück des T-Rohrs wird in einem Stativ so befestigt, daß der horizontale Teil etwas von der Tischplatte entfernt bleibt. Dadurch ist es möglich, einen Maßstab zur Ablesung der Längen bequem an die Röhre heranzubringen. Ein bei A angesetzter Schlauch führt zum Siedekolben. Als Anfangstemperatur t_1 gilt, wenn der Apparat lang genug vor Beginn der Messung im Zimmer steht, die Zimmertemperatur[1]), während t_2 die Siedetemperatur ist. Sind l_1 und l_2 die entsprechenden Längen des Flüssigkeitsfadens (l_0 die bei 0^0), und q_0, q_1, q_2 die Querschnitte der Einlageröhre, so ist

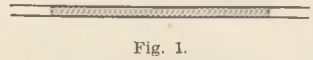


Fig. 1.

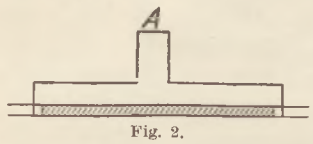


Fig. 2.

[1]) Einführung des Thermometers bei A.

$$V_0 = l_0 q_0 \text{ und } V_1 = V_0(1+\beta t_1) = l_1 q_1 = l_1 \cdot q_0 (1+2\alpha t_1)$$
$$V_2 = V_0(1+\beta t_2) = l_2 q_2 = l_2 \cdot q_0 (1+2\alpha t_2),$$

wobei α den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Glases, β den A.K. der Flüssigkeit bedeutet, somit:

$$\text{I.} \quad \frac{1+\beta t_2}{1+\beta t_1} = \frac{l_2(1+2\alpha t_2)}{l_1(1+2\alpha t_1)}.$$

Die Ausdehnung $l_2 - l_1$ betrug z. B. bei Quecksilber bei einer Anfangslänge von $l_1 = 277$ mm genau 4 mm. Kommt es nur auf die Feststellung der Größenordnung von β an, so kann man I vereinfachen, indem man $q_1 = q_2$ und

$$\frac{1+\beta t_2}{1+\beta t_1} = 1+\beta(t_2 - t_1) = 1+\beta \bar{t}$$

setzt; dann erhält man $\text{II.} \quad l_2 = l_1(1+\beta \bar{t})$.

Mit dieser Formel erhielt man z. B. für Quecksilber (gut zu trocknen!) $\beta = 0{,}00019$, für Glyzerin $\beta = 0{,}00054$.

Bringt man (Fig. 3) durch wiederholtes Ansaugen in naheliegender Weise zwei Quecksilbersperrtropfen in die Einlageröhre, so hat man damit ein Luftvolumen von der Länge l_1. Sieht man wieder von der Änderung des Querschnittes q ab, so hat man für den gesuchten Ausdehnungskoeffizienten γ der Luft:

Fig. 3.

$$\text{III.} \quad \frac{1+\gamma t_2}{1+\gamma t_1} = \frac{l_2}{l_1}.$$

(Bei der relativen Größe von γ ist es hier nicht statthaft, Gleichung III in $l_2 = l_1(1+\gamma \bar{t})$ zu verwandeln.)

Hat man Röhre und Quecksilber gut getrocknet, dann erhält man recht befriedigende Mittelwerte. Bei Unterlassung dieser Vorsicht bekommt man zu große Werte, die um 0,004 herum liegen. (Auch bei anderen Methoden, wie z. B. von Grimsehl, zeigt sich dieser Einfluß.)

Die Ergebnisse dürften somit befriedigend und für die Methode empfehlend sein, um so mehr, als die benutzten Röhren auch für viele andere Zwecke verwendet werden können.

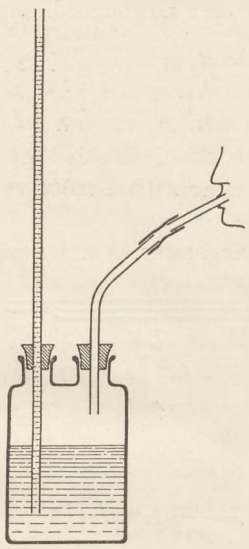
Für die Praxis.

Ein Luftkissen als hydraulische Presse und als Wage. Von W. Grosch in Cassel. Das Wesentliche zum Verständnis der hydraulischen Presse läßt sich an folgenden Versuchen recht anschaulich und anregend erläutern.

Man bestimme zunächst den Druck, den wir mit unserer Lunge ausüben können. Am einfachsten bedient man sich hierzu einer Flasche, die etwa zur Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt ist. In diese führen luftdicht abgeschlossen zwei Glasrohre, ein langes (1,2 m bis 1,5 m), das fast auf den Boden der Flasche reicht, und ein kurzes, das dicht unter den Korken endet. An das äußere Ende des letzteren wird mit einem Schlauchende ein auswechselbares Glasmundstück gesteckt, damit verschiedene Schüler die Kraft ihrer Lunge prüfen können (Reinigung in einer Kaliumpermanganatlösung). Gewöhnlich kann ein Sekundaner das Wasser 100 cm hoch in das lange Glasrohr treiben; der Druck seiner Lunge beträgt dann 100 g pro qcm. Das Ergebnis ruft stets große Überraschung hervor, der Druck wurde viel größer geschätzt. Die Überraschung wird aber noch gesteigert, wenn nun der Lehrer behauptet, daß wir trotzdem mit unserer Lungenkraft einen Menschen heben können.

Das Ventil eines Luftkissens wird mit einem längeren Gasleitungsschlauch, der

wieder in ein Glasmundstück endet, verbunden. Das Kissen wird nun an einer von allen Plätzen aus sichtbaren Stelle auf dem Fußboden ausgebreitet, darüber wird ein Reißbrett gelegt; auf dieses stellt sich ein schwerer Schüler so, daß er sich an der Tischkante oder an der Wand leicht festhalten kann. Nun bläst ein zweiter Schüler durch den Gasleitungsschlauch Luft in das Kissen; sanft, aber zusehends wird dann das Reißbrett samt seiner lebenden Belastung in die Höhe gehoben, etwa um 7—12 cm, bis das Kissen zu straffer Rundung gespannt ist. Freilich muß der zweite Schüler hierzu 3—4mal voll Atem schöpfen. Als Luftabschluß für diese Atempausen genügt es, den Schlauch mit den Fingern einzuknicken. Die Klasse findet leicht die Erklärung: der gesamte Druck auf der Berührungsfläche des Kissens mit dem Reißbrette wird zum Heben verwandt. Das von mir verwandte Kissen war 40 cm lang und 30 cm breit, der Druck konnte also auf $30 \times 40 \times 100$ g $= 120000$ g oder 240 Pfund gesteigert werden.



Es ist gut, vor der vollen Belastung ein wenig Luft in das Kissen zu blasen; befindet sich nämlich zwischen dem Reißbrette und dem Fußboden keine Luft in dem Kissen, so kann selbst eine geringe Belastung (Gewichtstücke) durch stärkstes Blasen nicht gehoben werden; man wird dies den Schülern zeigen und sie nach der Erklärung suchen lassen (vgl. Versuche über „Nichtschwimmern"). Lohnend ist es auch die zur Hebung um 10 cm nötige Luftmenge berechnen zu lassen: $10 \times 1200 = 12000$ ccm, rechnet man die Rundung des Kissens am Schluß des Versuches ab, so bleiben etwa 10 l übrig; da der Schüler beim Aufblasen 3mal ansetzte, ergibt sich für seine Lunge ein Fassungsvermögen von $3^1/_3$ l. (Über die genaue Messung der Vitalkapazität vgl. man O. Ohmann, diese Zeitschrift 29, 321.)

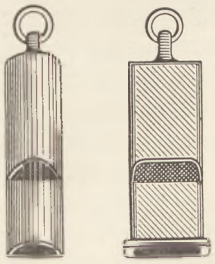
Verbindet man den Gasleitungsschlauch, nachdem das Kissen halbaufgeblasen ist, mit dem oben beschriebenen Minometer, so erhält man eine Vorrichtung, die geradezu als Wage benutzt werden kann. Mit Interesse verfolgen die Schüler wie die Wassersäule emporschnellt, sobald sich ein Mitschüler auf das Brett stellt, um sich je nach der Belastung in einer bestimmten Höhe einzustellen und um dann wieder zu fallen, wenn der Schüler seinen etwas unsicheren Standort verläßt.

Die Versuche sind recht wirkungsvoll. Bei ihrer Ausführung an der Studienanstalt beschrieb mir eine Untersekundanerin folgenden Versuch: Auf einen Tisch legte sie eine größere Papiertüte und darauf einige Lexikonbände: durch Aufblasen der Tüte wurden die schweren Bücher gehoben.

Herstellung Kundtscher Staubfiguren durch Pfeifen. Von W. Grosch in Cassel. Zur Herstellung Kundtscher Staubfiguren eignen sich vorzüglich die kleinen, gedeckten Pfeifen, die man in Geschäften für Jagdbedarf unter der Bezeichnung „kurzer Pfiff" für 50 Pfennige kaufen kann. Besonders schön fallen die Figuren aus, wenn man nach dem Vorschlage des Herrn Prof. Merkelbach (diese Zeitschrift 28, 150) gebrannte Magnesia verwendet.

Freihändig läßt sich der Versuch mit etwa 30 cm langen Rohren ausführen; man halte den Schlitz des Pfeifchens vor die Öffnung und blase kräftig an. Das Magnesiapulver richtet sich zwischen je zwei Knoten zu zahlreichen, vertikal stehenden Querwänden auf, die erst mit dem Aufhören des Tones senkrecht zu Boden fallen und hier die bekannten Rillen bilden. Durch Anlegen des Pfeifchens an die Figuren zeigt man unmittelbar, daß die Pfeifenlänge (2,25 cm) genau $^1/_4$ der Wellenlänge $\lambda = 9$ cm beträgt. Die Feuchtigkeit der Atemluft schägt sich zwar an den Rändern des Rohres

nieder, sie kann aber nicht tief eindringen, weil das Rohr geschlossen ist. Vollständig vermeiden kann man die Feuchtigkeit, wenn man über den Ansatz des Pfeifchens einen Gummischlauch zieht und nun das Anblasen mit einem Blasebalg besorgt. Zur genauen Messung der Wellenlänge wendet man lange und weitere Röhren an; hierbei wird das Pfeifchen samt dem Schlauche auf eine Holzleiste gebunden und in das Rohr geschoben; mit der Holzleiste kann man es an geeigneten Stellen auf irgendeine Weise befestigen und dann von außen anblasen. So erhielt ich mühelos wohlausgebildete Figuren von 12 vollständigen Wellenlängen.



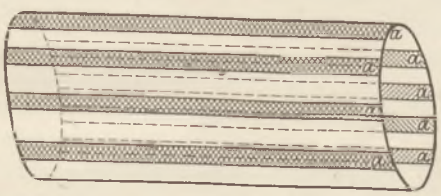
Diese Anordnung erlaubt auch die Ausführung eines Interferenzversuches. Durch Verschieben der Holzleiste findet man Stellen, an denen der Pfeife kein Ton sondern nur ein zischendes Geräusch entlockt werden kann, der Ton wird hier durch den zurückgeworfenen aufgehoben; verschiebt man um $^1/_4\ \lambda$, so kommt man zu einer Stelle, an der der zurückgeworfene Ton den ersten zu kaum erträglicher Intensität verstärkt; eine weitere Verschiebung um $^1/_4\ \lambda$ führt wieder zu einer Stelle des Verstummens. Da diese Stellen scharf ausgeprägt sind, kann man die Wellenlänge auch nach dem Gehör messen und dann das Ergebnis mit dem der Staubfiguren vergleichen.

Mit diesen Pfeifchen, die eine sehr kleine Schallquelle mit kurzen Wellen darstellen, läßt sich auch in anderer Weise ein Interferenzversuch ausführen. Man versehe die Pfeife mit einem längeren Schlauche, halte sie dicht an eine glatte, ebene Wand, halte ein Ohr zu und bewege nun langsam unter Blasen das Pfeifchen von der Wand fort; man hört deutlich ein Abnehmen und Anschwellen des Tones; die Pfeife interferiert mit ihrem akustischen Spiegelbilde. Es ist leicht möglich auf das Minimum und Maximum einzustellen, wenn man die Hand an einen Maßstab legt. Das erste Minimum liegt in der Tat in 2,25 cm, das erste Maximum in 4,5 cm Entfernung von der Wand, so daß auch auf diese Weise λ gemessen werden kann.

Benützung des Looserschen Thermoskops an Stelle des Riesschen elektrischen Thermometers. Von R. Lebküchner, Ulm. Auf den Nachweis, daß die elektrischen Vorgänge im Entladungskreis einer Leidener Flasche u. dgl. und im Schließungskreis eines galvanischen Elements gleichartig sind, wird neuerdings schon im elementaren Unterricht mit Recht großer Wert gelegt. Looser zeigt in seinen „Versuchen aus der Wärmelehre“ (4. Auflage, Braunschweig 1915, Nr. 131, S. 108), wie man, auch quantitativ, mit dem Thermoskop die Entwicklung Joulescher Wärme im Entladungskreis einer Leidener Batterie demonstrieren kann. Doch ist dabei ein besonderer „Nebenapparat“ vorausgesetzt; ich möchte hier darauf hinweisen, daß man sich das Erforderliche leicht selbst herstellen kann. In ein auf der einen Seite geschlossenes kurzes, weites Glasrohr, z. B. eines der äußeren Glasgefäße der Nebenapparate für den Nachweis der Wärmeleitung in Flüssigkeiten oder Gasen, kommt ein Gummistopfen mit drei Bohrungen, durch welche ein zum Anschließen des Thermoskopschlauchs zugespitztes Glasrohr und zwei 2—3 mm starke Messingdrahtstücke luftdicht eingeführt werden. Die letzteren tragen außen Klemmschrauben und erhalten an ihren etwa 2 cm nach innen ragenden Enden Löcher zur Aufnahme der Enden einer aus dünnem Blumendraht gewickelten Spirale. Zum bequemeren Bohren der Löcher schlägt man die Messingstäbchen unten etwas breit; ein Anlöten der Spirale ist nicht erforderlich, die Befestigung erfolgt durch einfaches Umbiegen der Drahtenden Die Achse der Spirale bildet beiderseits die Verlängerung der Messingstäbchen und biegt in der Nähe des unteren Abschlusses des Glasrohres U-förmig um; auf diese Weise kann man ihr eine genügende Länge geben, ohne das Glasrohr zu weit nehmen zu müssen. Für die Unterstufe genügt vollständig der qualitative Nachweis; man kann dann folgende vereinfachte Anordnung treffen. Die Pole einer Influenzmaschine

sind so weit auseinandergezogen, daß keine Funken zwischen ihnen übergehen; den einen verbindet man mit der inneren Belegung einer Leidener Batterie, die äußere Belegung und der andere Pol sind geerdet. Andererseits erdet man die innere Belegung über eine besondere Funkenstrecke und fügt die Spirale mit Hilfe der Klemmschrauben in die Erdleitung zwischen Funkenstrecke und Erde ein. (Würde man sie zwischen Batterie und Funkenstrecke legen, so müßte man sich um ihre Isolierung gegen das tragende Stativ und gegen das Thermoskop kümmern.) Bei meinen Versuchen verwendete ich eine durch einen Elektromotor (Max Kohl, Nr. 8952) betriebene Wommelsdorfsche Kondensatormaschine (mit einer rotierenden Scheibe von 26 cm Durchmesser) und eine Batterie, bestehend aus vier mit einem 20 cm hohen Stanniolbelag versehenen Flaschen von je 20 cm äußerem Durchmesser; die Funkenstrecke war 1—1,5 cm lang. Jeder Entladungsfunken verursachte ein deutlich sichtbares Aufzucken der Flüssigkeitssäule des Thermoskops um $^1/_2$—1 cm. Damit ist die Tatsache der Wärmeentwicklung im Entladungskreis gezeigt, und verwendet man später zum Nachweis der Jouleschen Wärme im Schließungskreis des Elements dieselbe Spirale, so tritt die Identität beider Erscheinungen deutlich hervor.

Zur Umkehrung der Natriumlinie. Von Georg Weder, Annaberg, Erzgb. Die vielen in dieser Zeitschrift veröffentlichten Ratschläge zur Umkehrung der Natriumlinie bezeugen, wie lebhaft den experimentierenden Physiker dieser Versuch immer wieder beschäftigt. Fast alle, hier in diesen Heften erwähnten Anordnungen habe ich, soweit mir die Hilfsmittel zu Gebote standen, ausprobiert, doch kehrte ich immer wieder zurück zu der in den folgenden Zeilen beschriebenen. Ohne auf theoretische Betrachtungen einzugehen, ist doch klar, daß jede Lichtsorte um so stärker absorbiert wird, je länger die Wegstrecke ist, die es im absorbierenden Mittel zurückzulegen hat.



α = Die Asbeststreifen auf dem Netzzylinder.

Um nun eine möglichst große Wegstrecke zu erhalten, verschafft man sich eine feine Gaze aus Eisendraht, die, über einen Bunsenbrenner gehalten, die brennende Gasflamme nicht durchschlagen läßt, und bilde daraus einen Zylinder von ungefähr 20 cm Länge. An der Innenwand hefte man mit Draht einige schmale Streifen von Asbestpappe, die vorher in einer konzentrierten Natriumlösung längere Zeit gelegen haben. Dieser so vorbereitete Zylinder wird zwischen Spalt und Linsenkopf eines Projektionsapparates auf Stative gelegt und unter ihm eine Reihe von Bunsenbrennern so aufgestellt, daß ihre ausströmenden Gasmassen im Zylinder entzündet werden können. Von glühendem Gase erfüllt sich dann vollständig sein Innenraum. Schickt man nun einenLichtstrahl, auf dessen Natriumlinie das Spektrum vorher scharf eingestellt worden ist, durch das Flammenmeer, so verschwindet die D-Linie, und zwar für längere Zeit. Dabei ist es vorteilhaft, durch aufgestellte Pappschirme alles seitliche Licht abzublenden, so daß das Spektrum auf schwarzem Grunde erscheint.

Auf gleiche Weise lassen sich im Spektrum andere Umkehrungslinien erzeugen, wenn für jede Lichtsorte ein entsprechender Zylinder hergestellt wird.

Das Interessanteste aber ist, zu zeigen, wie die absorbierende Kraft der glühenden Gasmassen mit ihrer Längenausdehnung wächst, die hier proportional der Zylinderachse ist. Diese Versuche gelingen am besten mit verschieden langen Zylindern, doch genügt es zur Not, die Bunsenbrenner in kurzen Zwischenräumen nacheinander anzuzünden.

Berichte.

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Krystallstruktur und Röntgenstrahlen. Die im Jahre 1912 auf Veranlassung LAUES[1]) angestellten Versuche, Beugungserscheinungen von Röntgenstrahleu mit Hilfe des Raumgitters eines Krystalls nachzuweisen, haben uns endgültig Aufklärung gegeben über das Wesen der Röntgenstrahlen; sie sind dem Lichte wesensverwandt, also elektromagnetische Wellen. Wir sind heute imstande, die Wellenlängen der charakteristischen Strahlen, wie sie von Antikathoden aus verschiedenen Metallen ausgehen, mit großer Genauigkeit zu messen, so daß sich eine Hochfrequenzspektrometrie entwickelt hat. Ferner haben wir in den Strahlen ein genügend feines Mittel kennen gelernt, um den Feinbau der Krystalle zu erforschen. Wie das geschieht, welche Methoden dabei angewandt werden, soll im folgenden dargestellt werden.

1. Zur Erklärung seiner Aufnahmen nahm LAUE an, daß die auffallenden Röntgenstrahlen an den einzelnen, raumgitterartig angeordneten Atomen des Krystalls gebeugt werden. Um Einblick in die etwas komplizierten Verhältnisse zu bekommen, erinnern wir uns der Gesetze, die für die Beugung an einem ebenen Gitter (Gitterkonstante d) gelten. Fällt Licht von der Wellenlänge λ auf, dann findet sich hinter dem Gitter nur in ganz bestimmten Richtungen α Helligkeit und zwar gilt bekanntlich die Gleichung:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha \quad (n = 1, 2, 3 \ldots .) \qquad \text{(a)}.$$

Beschränken wir uns auf das Beugungsgitter erster Ordnung ($n = 1$), dann ist $\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$, d. h. es muß eine ganz bestimmte Beziehung zwischen λ und d bestehen, damit das Gitter wirksam ist. Wird nämlich $\lambda = d$, dann wird $d = 90^0$; das erste abgebeugte Licht liegt in Richtung der Gitterebene, ist also nicht wahrnehmbar. Ist anderseits λ klein gegen d, dann bleibt α so klein, daß ein merkbarer Richtungsunterschied zwischen dem gerade hindurchgehenden und dem abgebeugten Licht nicht vorhanden ist. Nachweisbare Beugung findet demnach nur dann statt, wenn λ u. d von gleicher Größenordnung, aber dabei λ kleiner als d ist. Um Beugungserscheinungen an Röntgenstrahlen zu erhalten, deren Wellenlänge man schon vor den LAUEschen Versuchen zu etwa 10^{-8}cm anzunehmen Grund hatte, bedurfte es Gitter von ungeheuerer Feinheit, wie sie die Natur in den Krystallen liefert, für die schon Bravais 1850 einen raumgitterartigen Bau angenommen hatte.

Bringt man in einem ebenen Gitter senkrecht zu dem ersten ein zweites System von Stäben an, so erhält man ein Kreuzgitter, wie wir es in der Müllergaze haben, es beugt das Licht nicht nur nach rechts und links, sondern auch nach oben und unten und in Richtung der Diagonalen. Denkt man sich eine Anzahl Kreuzgitter im Abstand d „ausgerichtet" hintereinandergestellt und senkrecht zum Beschauer durch die Schnittpunkte der Kreuzgitterfäden ein drittes System von Fäden gezogen, dann erhält man das Raumgitter, wie es in Fig. 1[1])

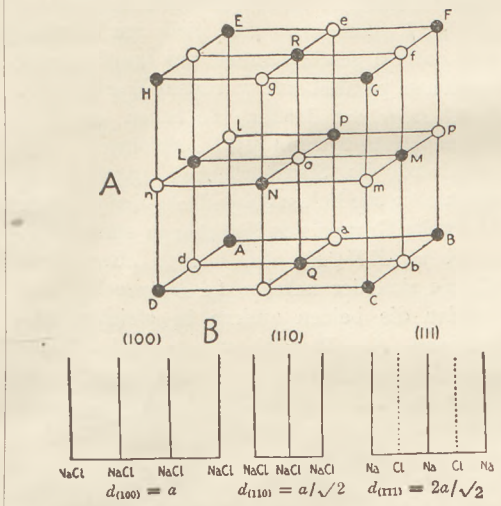


Fig. 1.

dargestellt ist. Da durch das dritte System eine weitere einschränkende Bedingung hinzukommt, gibt es bei der Beugung nicht mehr für jede einzelne Wellenlänge, sondern nur noch für ganz bestimmte ausgewählte Wellenlängen solche Richtungen, in denen eine Verstärkung durch Interferenz stattfindet. Das Raumgitter entwirft also keine vollständigen Spektren aller in der auffallenden Strahlung enthaltenen Wellenlängen, sondern wählt einzelne seinen Dimensionen entsprechende aus und wirft sie nach einzelnen Richtungen in den Raum hinaus. Die Helligkeitsmaxima liegen symmetrisch zu den Symmetrieebenen des Gitters

[1]) Münch. Ber. (1912) 303: W. Friedrich, P. Knipping u. M. Laue: Interferenzerscheinungen an Röntgenstrahlen.

[1]) Die Figuren des Berichts sind der Arbeit von Bragg im Jahrb. für Radioaktivität und Aufsätzen von Rinne in den Naturwissenschaften entnommen.

An den Gittereckpunkten, den Durchschnittpunkten der Fäden, die man sich fortzudenken hat, liegen die Atome des betreffenden Krystalls, also in Fig. 1, die einen Steinsalzkrystall darstellt, Na- und Cl-Atome, durch Punkte bzw. Kreise dargestellt.

2. Die Entstehung der LAUEschen Beugungsbilder läßt sich noch auf eine andere Weise erklären, die einfacher ist, wenn sie auch das Wesen der Sache nicht so gut trifft wie die Beugungstheorie. Die Reflexionstheorie, wie sie von den Braggs (Vater und Sohn)[1]) aufgestellt ist, wird daher vor der ersteren meistens bevorzugt. Sie nimmt an, daß die Röntgenstrahlen an ganz bestimmten, im Innern des Krystalls liegenden, mit Atomen besetzten Netzebenen reflektiert werden und daß die reflektierten Strahlen miteinander interferieren. Betrachtet man Fig. 1, dann kann man sich den Krystall wie es unter 1 geschildert ist, aus äquidistanten Netzebenen parallel zur vorderen Würfelfläche *CDHG* aufgebaut denken; sie haben das krystallographische Symbol (0 0 1); gleichwertig mit diesen sind die Strukturflächen parallel zur unteren oder zur linken Seitenfläche des Würfels. Eine zweite Gruppe von Netzebenen sind solche parallel zu *EDCF*, also *hnmf*, oder *ldpb* 0 1 1); sie sind der x-Achse (*A B*) parallel und schneiden die beiden andern in gleichem Abstand von *A*. Parallel zur *y*- und *z*-Achse lassen sich natürlich entsprechende Scharen von Ebenen legen. Als dritte Hauptgruppe kommen Oktaederflächen vom Symbol (1 1 1) in Betracht: *DEB*, *lda* usw.

In Fig. 2 stellen die horizontalen Geraden

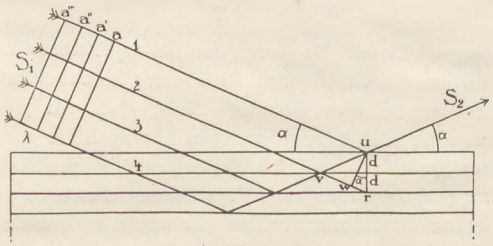


Fig. 2.

eine Schar von Netzebenen des Krystalls dar, auf welche unter dem Glanzwinkel α ein Bündel Röntgenstrahlen 1—4 auffällt. Jede der Ebenen wirkt als Spiegel, indem sie einen Teil der Strahlen in Richtung S_2 reflektiert. Die in dieser Richtung gehenden Strahlen interferieren mit einander und zwar verstärken sie sich, wenn sie einen Gangunterschied von einem ganzen Vielfachen von λ haben. Der Gangunterschied zwischen Strahl 1 und 2 nach der Reflexion ist, da $vn = vr$ ist, gleich $wr = 2d \sin \alpha$, wo d der Abstand zweier benachbarter Netzebenen ist. Zwischen 2 und 3, 3 und 4 usw. ergibt sich derselbe Gangunterschied, so daß wir als Bedingung der maximalen Helligkeit in Richtung S_2 die Gleichung erhalten:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \alpha. \quad n = 1, 2, 3 \ldots\ldots \text{(b)}.$$

Besteht das auffallende Büschel S_1 aus Strahlen verschiedener Wellenlängen, dann werden in Richtuug S_2 nur ganz bestimmte Wellenlängen, nämlich solche, denen λ der Gleichung *b* genügt, reflektiert. Denn für alle übrigen, für die der Gangunterschied nicht genau λ, 2λ, 3λ usw. ist, ist das Resultat der Interferenz 0. Der Krystall „erzeugt" mithin Licht von ganz bestimmter Wellenlänge und wirft es in Richtung S_2 zurück. Zu dem gleichen Ergebnis führt die Beugungstheorie (1.) Daß Beugungs- und Reflexionstheorie nichts Wesensverschiedenes, sondern nur eine verschiedene Auffassung ein ünd derselben Erscheinung sind, spricht sich auch in der nahen Übereinstimmung der Grundgleichungen *a* und *b* aus.

Läßt man monochromatisches Röntgenlicht (λ) unter allmählich wachsendem Glanzwinkel auf dem Krystall fallen, dann wird bei einem ganz bestimmten Winkel α eine Reflexion stattfinden, nämlich wenn $\lambda = 2d \sin a$ ist. Wird a größer, dann findet eine zweite, dritte usw. Reflexion statt, wenn nämlich $2d \sin = 2\lambda$, 3λ usw. ist, so daß wir wie bei der Beugung eine Reflexion 1., 2., 3., usw. Ordnung haben. Auch hier muß die Wellenlänge λ von derselben Größenordnung wie d und kleiner als d sein. Zu betonen ist, daß die Reflexion nicht an der Oberfläche, sondern an den inneren Strukturflächen des Krystalls stattfindet, es ist ein Volumreflexion. Künstlich angeschliffene Flächen reflektieren ebensowenig wie Begrenzungen amorpher Körper. Auch hat es, wie der Versuch zeigt, auf die Reflexion keinen Einfluß, wenn die natürliche Grenzfläche des Krystalls glatt oder aufgerauht ist.

Wie die Untersuchung[1]) zeigt, hängt das Reflexionsvermögen einer Netzebene von dem Quadrate ihrer Belegungsdichte (d. i. Anzahl der Atome auf der Flächeneinheit) und von dem Gewicht der Atome ab. Zwei Ebenen reflektieren

[1]) W. H. a. W. L. Bragg, X-Rays and crystal structure. London 1916, 2. Aufl. — Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik XI (1914), 346: W. L. Bragg, Die Reflexion der Röntgenstrahlen.

[1]) Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik XI (1914), 308: M. v. Laue, Interferenzerscheinungen an Röntgenstrahlen.

demnach gleich stark, wenn die Massen ihrer Atome pro Flächeneinheit gleich sind; 100 Sauerstoffatome reflektieren also genau so wie 50 Schwefelatome, die auf einer Fläche von der gleichen Größe sitzen. Außer den oben genannten drei Gruppen von Netzebenen (0 0 1) (0 1 1) (1 1 1) lassen sich natürlich noch zahlreiche andere durch den Krystall legen; es zeigt sich aber, daß ihre Netzdichte geringer ist und daß sie daher für die Reflexion weniger in Betracht kommen. Betrachtet man (Fig. 1) die Ebene $dEFb$ (0 2 1), so sieht man, daß ihre Netzdichte geringer ist als die der Ebene $EDCF$ (0 1 1) Ferner ist der Abstand der Schar (0 2 1) kleiner als der Ebenen vom Symbol (0 1 1); die $EdbF$ benachbarte geht durch LM und schneidet hE und Dd in der Mitte. Bei einer Schar (0 4 1) ist die Netzdichte noch geringer und der Abstand d ebenfalls kleiner. Die Folge ist, daß praktisch für die Reflexion nur eine beschränkte Zahl von Ebenen in Betracht kommt, eben die sogenannten Strukturebenen, deren Belegungsdichte genügend groß ist. Alle übrigen sind zu schwach mit Atomen besetzt; es kommt hinzu, daß bei diesen der Abstand meistens kleiner als λ sein wird, so daß sie nach Gleichung b für die Reflexion nicht mehr in Frage kommen. Die Strukturebenen sind nun auch diejenigen, die in der äußeren Begrenzung des Krystalls am häufigsten zutage treten.

3. Das von einer Röntgenröhre ausgehende Licht enthält eine sehr große Anzahl von Wellenlängen; es ist „weiß". Zerlegt man es spektral, dann zeigt sich, daß über dem kontinuierlichen Spektrum ein Linienspektrum gelagert ist. Die Erklärung hierfür liegt in der Entstehung der Röntgenstrahlen. Diese entstehen bekanntlich dadurch, daß Elektronen hoher Geschwindigkeit auf das Metall der Antikathode schlagen; wird das Elektron gebremst, so setzt sich seine Wucht zum Teil in elektromagnetische Strahlung verschiedenster Wellenlängen (weißes Licht) um: die sogenannte Bremsstrahlung. Aber auch die Elektronen, die das Atom des Antikathodenmetalls aufbauen, geraten in Schwingungen und senden Röntgenlicht von einigen wenigen für das Metall charakteristischen Wellenlängen aus, die Eigenstrahlung (Linienspektrum. Fig. 3 zeigt das Spektrum einer Röntgenröhre mit Rhodiumantikathode; als Abszisse ist der Glanzwinkel, unter dem die Strahlen den analysierenden Krystall (100-Ebenen des Steinsalzes) treffen, aufgetragen, senkrecht dazu die Intensität der Strahlen. Über die (weiße) Bremsstrahlung, die mit kurzen Wellenlängen (gemäß Gleichung b) bei etwa 3° beginnt, sind die beiden für das Rhodium charakteristischen Linien r_1 und R_1 gelagert; r_2 und R_2 sind die Reflexionen zweiter Ordnung. Die das Maximum hervorrufende Strahlung hat eine Wellenlänge von $0{,}607 \cdot 10^{-8}$ cm. Die genaue Festlegung dieser Maxima und die Ausmessung der Wellenlängen der Eigenstrahlung für die verschiedenen Elemente ist die Aufgabe der Hochfrequenzspektrometrie.

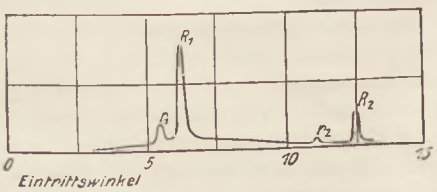


Fig. 3.

Von den drei Verfahren, die zur Erforschung des Feinbaues der Krystalle verwendet werden, benutzt die Röntgenspektrometrie der BRAGGS und die Röntgenspektrogrammetrie von DEBYE und SCHERRER die Eigenstrahlung; sie untersuchen also den Krystall mit dem monochromatischen Licht, wie es Antikathoden aus Palladium, Rhodium usw. liefern. Die Röntgenogrammetrie LAUES dagegen arbeitet mit weißem Licht.

4. Die BRAGGS[1]) stellen den Krystall auf das Tischchen eines Spektrometers; durch Bleiblenden ausgeblendet fällt ein schmales Büschel Röntgenstrahlen fast streifend auf, der Glanzwinkel kann durch Drehen des Tischchens verändert und an der Teilung abgelesen werden. Der reflektierte Strahl fällt in eine Ionisationskammer, welche die Stelle des Fernrohrs im Spektrometer einnimmt. In die zylindrische Kammer treten die Strahlen durch ein die vordere Grundfläche bildendes Aluminiumblättchen axial ein. Das im Innern befindliche Gas, Schwefeldioxyd oder Methylbromid (beide absorbieren die Strahlen besonders gut) wird ionisiert. Durch einen mit dem Elektrometer verbundenen, von der Kammer selbst isolierten Draht wird die Stärke der Ionisation und damit die Intensität der reflektierten Strahlung gemessen. Das in Fig. 3 dargestellte Spektrogramm ist auf diese Weise erhalten. Um den Feinbau eines Krystalls zu ermitteln, untersucht man nach dieser Methode die Spektren an verschiedenen krystallographisch wichtigen Flächen, mißt die Reflexionswinkel α, gewinnt dadurch mittels Gleichung b eine Beziehung zwischen λ und d und kann daraus, wie im folgenden am Steinsalz gezeigt wird, Einsicht in die Struktur des Krystalls gewinnen.

[1]) a. a. O.

Fig. 4 zeigt die an den drei Flächen (100), (110) und (111) mit Palladiumstrahlen ($\lambda = 0{,}576 \cdot 10^{-8}$ cm) erhaltenen Spektren. Das kontinuierliche Spektrum ist fortgelassen, und nur die Lage der Linie R_1 (das Palladiumspektrum ist dem des Rhodiums, Fig. 3, sehr ähnlich) ist angegeben. Als Abszisse ist der doppelte Glanzwinkel eingetragen. Nur drei Ordnungen sind wiedergegeben, doch lassen sich mehr beobachten. Während für die Flächen (100) und (110) die Spektren erster Ordnung die größte Intensität haben und die höherer Ordnung schnell abnehmen, ist es für die Fläche (111) anders, hier ist die zweite Ordnung am stärksten. Betrachten wir Fig. 1, dann klären sich diese Eigentümlichkeiten auf. Die benachbarten Flächen (100) und (111)

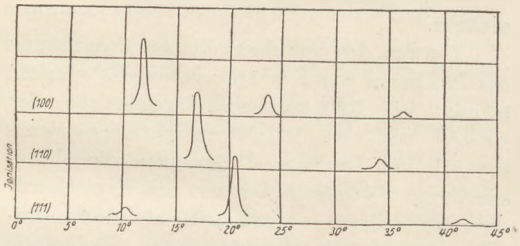


Fig. 4.

sind unter sich ganz gleichwertig, indem in ihnen abwechselnd Natrium- und Chloratome nebeneinander liegen, siehe Fig. 1b. Anders die Flächen (111), hier enthalten die Ebenen abwechselnd nur Na- und nur Cl-Atome. Das Spektrum erster Ordnung entspricht dem Abstande d zwischen den Cl-Ebenen, also der Höhe in der Pyramide $A\,(LPQ)$, die gleich $\frac{2a}{\sqrt{3}}$ ist (a ist die Kante Ad des Elementarwürfels). In der Mitte zwischen den Cl-Ebenen liegen die gleichfalls reflektierenden Na-Flächen. Die Folge ist, daß das Spektrum erster Ordnung geschwächt wird, da der Gangunterschied zwischen den an den Na- und Cl-Ebenen reflektierten Wellenzügen $\frac{\lambda}{2}$ ist. Eine vollständige Auslöschung des ersten Maximums findet aber nicht statt, da die Intensität der beiden Wellenzüge wegen des verschiedenen Atomgewichts von Cl und Na nicht gleich ist. Das Spektrum zweiter Ordnung wird dagegen verstärkt, da der Gangunterschied der an den verschieden belegten Ebenen reflektierten Wellen jetzt eine ganze Wellenlänge beträgt.

Auch eine zahlenmäßige Beziehung zwischen der Größe der aus den Spektren (Fig. 4) entnommenen Glanzwinkel und dem Raumgitterbild (Fig. 1) läßt sich feststellen. Aus Gleichung b ergibt sich $\sin \alpha = \frac{\lambda}{2d}$ für die erste Ordnung. Die Glanzwinkel betragen für die Fläche (100) 5,8°, (110) 8,5° und für die Reflexion zweiter Ordnung der Fläche (111) 10,3°. Es ist demnach

$$\sin 5{,}8^\circ : \sin 8{,}5^\circ : \sin 10{,}3^\circ = \frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{2}{d_{111}}.$$ (Im letzten Bruch 2, weil wir die Reflexion zweiter Ordnung als die intensivere in Rechnung gestellt haben.) Aus Fig. 1 ergibt sich, daß $d_{100} = A\,d = a$, $d_{110} = \frac{a}{\sqrt{2}}$ als Höhe im rechtwinklig gleichschenkligen Dreieck $A\,d\,l$ und $d_{111} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ (s. o.) ist. Wir erhalten also für die rechte Seite: $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$, Werte, die mit denen der linken gut übereinstimmen. Da sich zeigen läßt, daß kein anderes Raumgitter die Eigenart der Spektren verschiedener Ordnung an den drei Flächen hinreichend erklärt, gibt Fig. 1 das Raumgitter des Steinsalzes richtig wieder.

Wenn hiermit auch die gegenseitige Lage der Atome festgelegt ist, so fragt es sich noch, wie groß in Zentimetern gemessen ihre Abstände sind. Folgende Überlegung führt zum Ziel. Dividiert man das Molekularvolumen V durch die Avogadrosche Zahl N, so erhält man das Volumen eines Moleküls $\frac{V}{N}$. Ein krystallographischer Elementarkörper (in Fig. 1 der Würfel $AdaQeLPc$) von der Kante a enthalte n Moleküle; dann ergibt sich für das Volumen eines Moleküls $\frac{a^3}{n}$. Es ist demnach $\frac{V}{N} = \frac{a}{n}$, somit $a = \sqrt[3]{\frac{v \cdot n}{N}}$[1]. Für Steinsalz ergibt sich

$$a = 2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \text{cm}.$$

Mit Hilfe dieses Wertes läßt sich die Wellenlänge der verwendeten Strahlung aus Gleichung b berechnen.

5. Das Spektrum des Sylvins ist dadurch ausgezeichnet, daß die Reflexion erster Ordnung für die (111)-Ebene vollkommen fehlt; das erklärt sich daraus, daß die an den K- und an den Cl-Ebenen reflektierten Wellen wegen der nahen Übereinstimmung des Atomgewichts beider Elemente gleiche Intensität haben und sich infolgedessen gegenseitig vernichten. Im übrigen sind die Spektren ganz ähnlich. Die Reflexionswinkel der Spitzen sind alle um rund 10% kleiner. Es muß demnach die Gitterkonstante a (Kante des

[1]) Der Elementarwürfel enthält je 4 Atome Na und Cl, also 4 Moleküle NaCl. Da jedes Atom aber zu 8 in der betreffenden Ecke zusammenstoßenden Elementarwürfeln gehört, enthält der Elementarwürfel im Mittel nur $\frac{4}{8} = \frac{1}{2}$ Molekül.

Elementarwürfels) beim *KCl* größer sein als beim NaCl, nämlich $\frac{a_{KCl}}{a_{NaCl}} = 1{,}10$. Das stimmt mit der Tatsache, daß das Molekularvolumen von KCl im Verhältnis 1,39 größer ist als das von NaCl. Das Verhältnis der Elementarwürfelkanten erhält man, wenn man aus dieser Zahl die Kubikwurzel zieht: $\sqrt[3]{1{,}39} = 1{,}11$.

Nach dieser Methode sind die Raumgitter einer Reihe von anderen Krystallen erforscht worden, von denen noch einige angeführt werden mögen. Fig. 5 zeigt das besonders einfache Gitter des Kupfers ($a = 3{,}6 \cdot 10^{-8}$). Denkt man sich die Kupfer- durch Calcium-Atome ersetzt und bringt man in der Mitte jedes der acht kleinen Würfel, in die der große zerfällt, ein Fluor-Atom an, so hat man das Schema des Flußspatbaues (Fig. 6).

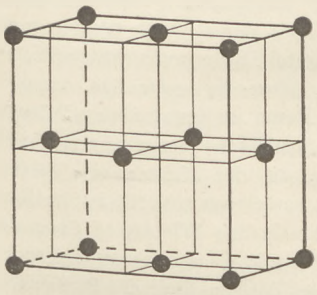


Fig. 5.

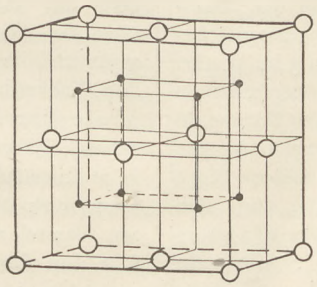


Fig. 6.

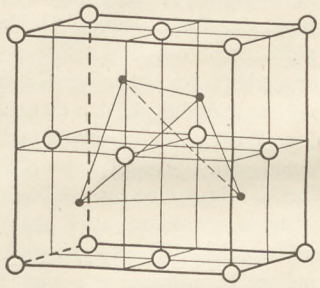


Fig. 7.

Setzt man dagegen an Stelle der Kupfer- Zink-Atome und bringt nur in jedem zweiten der kleinen Würfel ein Schwefel-Atom unter, dann hat man das Raumgitter der Zinkblende: Fig. 7. Dieses kann man sich auch aus dem Steinsalzgitter (Fig. 1) entstanden denken, dadurch, daß man das Chlorgitter als Ganzes so weit verschiebt, daß die Chlor-Atome die Raumdiagonale des Natriumwürfels vierteln; statt Na und Cl hat man Zn und S zu setzen. Das Schema der Zinkblende besteht hiernach aus zwei ineinandergestellten einfachen Raumgittern. Auf der Raumdiagonale ist der Abstand der Schwefel- von den Zink-Atomen verschieden, je nach der Richtung, in der man fortschreitet; die Achse ist mithin polar. Dies erklärt zwanglos die Erscheinung der Pyro- und Pieroelektrizität, die in dieser Richtung am Zinkblendekrystall beobachtet wird. Denkt man sich in Fig. 6 sowohl Zink- als Schwefel- durch Kohlenstoff-Atome ersetzt, so hat man das Gitter des Diamanten (sein Spektrum ist dadurch ausgezeichnet, daß bei der Reflexion an den (111)-Ebenen das zweite fehlt, während alle übrigen bis zum fünften ausgeprägt sind). Seine Gitterkonstante a ist gleich $3{,}53 \cdot 10^{-8}$ cm. Da alle Atome gleichartig sind, fehlt hier die Polarität. Jedes Kohlenstoff-Atom hat vier Nachbarn, die in einem Tetraeder um das erste herum angeordnet sind; sämtliche Atome sind identisch gelegen.

6. Eine Frage von Wichtigkeit ist die nach der Raumeinheit der Krystalle. Während bei den Gasen es zweifelsohne die Molekel ist, welche die letzte Einheit bildet, führt uns die Analyse mittels Röntgenstrahlen zu dem aus Atomen aufgebauten Raumgitter, in dem im allgemeinen eine Zusammengehörigkeit mehrerer Atome zum Molekül durchaus nicht zu erkennen ist. Man hat daher wohl gesagt, der ganze Krystall sei ein einziges riesiges Molekül. Doch läßt sich in manchen Fällen nicht verkennen, daß doch Atome zu einer Baugruppe zusammentreten, so z. B. im Kalkspat, wo die Gruppe CO_3 sich klar heraushebt, indem die drei O-Atome in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen, dessen Mitte das C-Atom einnimmt. Ähnliches wird beim Korund (Al_2O_3), Eisenkies (FeS_2) u. a. m. beobachtet. Rinne[4]) kommt demnach zu folgendem Ergebnis: „Ein Krystall kann aus gleichförmig periodisch geordneten Atomen bestehen; in andern Fällen heben sich aus ihnen periodisch Knäuel heraus; schließlich kann es zu einer Aufteilung der ganzen Krystallmasse in solche chemisch molekelartig krystallographische Atomkomplexe kommen." (Schluß folgt.)

[4]) Neues Jahrb. f. Mineralogie II (1916), 47: F. Rinne, Beiträge zur Kenntnis des Feinbaues der Krystalle. — Naturwissenschaften V (1917), 49: F. Rinne, Zur Leptonenkunde als Feinbaulehre der Stoffe.

3. *Geschichte und Erkenntnislehre.*

Zur Geschichte der Pendeluhr. „Jost Bodeker von Wartbergh (Warburg) der Erfinder des Pendels, nicht Galilei?" — unter diesem Titel ist im Mai 1917 im Verlage von K. Waldschmidt zu Wetzlar als Sonderabdruck eine kleine Abhandlung erschienen, die dem Geheimen Archivarrat H. VELTMAN in Osnabrück zu danken ist. Er teilt uns handschriftliche Aufzeichnungen, aufbewahrt

in dem Kaiserl. Staatsarchiv zu Osnabrück, mit, die ein Vikar am Dome zu Osnabrück mit Namen Jost Bodeker über eine von ihm selbst im Jahre 1587 fertig gestellte astronomische Uhr niedergelegt hat. In ihnen findet sich, an mehreren Stellen, die Mitteilung, daß sich in dem Uhrwerk neben der bis dahin gebräuchlichen Unruhe ein Pendel und zwar ein Zentrifugalpendel befand, welches die Uhr und das ganze astronomische Werk allein für sich, an Stelle der Unruhe regulieren konnte. Leider ist die in der Beschreibung erwähnte Skizze von dem Kunstwerk verloren gegangen, so daß wir keine andern Anhaltspunkte als die in der Handschrift enthaltenen haben. Die in Betracht kommenden Stellen lauten in Übersetzung: Darüber hinaus sind einige Stücke mehr darin enthalten. So zunächst der goldene Stern oben in der Bekrönung, der durch sein Umlaufen ebensoviel bewirken kann als die Unruhe inwendig im Werke. Er vertritt die Stelle der Unruhe, insofern man will, und es ist gleich, ob man die Unruhe in dem Werk herausnehmen oder auch hängen lassen will. Und es kann dieser goldene Stern durch sein schnelles Umlaufen Tag, Zeit und Stunden verwahren und ebensowohl das ganze astronomische Werk regieren . . . . . nicht mehr und nicht weniger wie die Unruhe mit ihrem Hin- und Herschweben. An einer andern Stelle spricht er von einem Draht, mit dem man den Antrieb zum goldenen Stern auslösen könne und betont ausdrücklich, daß die Unruhe und das Pendel nicht zugleich laufen können. Weitere genauere Angaben über die Art der Aufhängung und die Länge des Pendels finden sich in der Beschreibung nicht, nur so viel läßt sich mit Bestimmtheit sagen, daß der goldene Stern (das Gewicht an der Pendelstange) schnell im Kreise auf der Halbkugel eines Planetariums herumlief und durch ein aufgezogenes Gewicht angetrieben wurde.

Der Verfasser kommt zu dem m. E. berechtigten Schlusse: „so kann es kaum einem Zweifel unterworfen sein, welchem Mann das Verdienst gebührt, das Pendel vor Galilei und Huyghens zur Zeitmessung sowohl als zur Regulierung der Uhr verwendet zu haben. Es ist ein Deutscher, der Westfale Jost Bodeker aus Warburg. Denn im Jahre 1578 bereits legte derselbe den Domherren am St. Petersstifte zu Osnabrück, im Kapitelsaale das Modell nnd die Zeichnung zu seiner von einem Zentrifugalpendel regulierten astronomischen Uhr vor; 1587 war diese Uhr, der Zeichnung und dem Modell entsprechend, fix und fertig und im Jahre 1626 noch im Gange."

Im Kapitel I hat der Verfasser übersichtlich die bisher bekannten Untersuchungen über die „Geschichte der Uhren" zusammengestellt und im Kapitel II die gedruckt vorliegenden Nachrichten über die vormalige astronomische Uhr im Dome zu Osnabrück wiedergegeben. Während das III. Kapitel die handschriftliche Instruktion, die der Meister von seinem Kunstwerk gibt, wortgetreu enthält, ist im letzten Kapitel nochmals das Wichtigste über die Uhr und das Uhrwerk selbst zusammengefaßt, worauf noch einige Notizen über die Persönlichkeit des Meisters folgen. Die kleine Abhandlung wird sicherlich bei den Physikern wegen ihrer Bedeutung für die Geschichte des Pendels und der astronomischen Uhren großes Interesse finden[1]). *Britten.*

[1]) Über den Bau von Uhren und besonders die Verwendung des Zentrifugalpendels vgl. H. Bock, Die Uhr, Grundlagen und Technik der Zeitmessung, 2. Aufl. B. G. Teubner (Aus Natur und Geisteswelt. Bd. 216).

4. Unterricht und Methode.

Die Bedeutung des physikalischen Unterrichts für die Erziehung unserer Jugend. Eine Abhandlung hierüber von Dr. GEORG WETZSTEIN, Professor am Realgymnasium zu Augsburg bildet den zweiten Teil der Preisschriften des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts, die unter dem Titel: Die Bedeutung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts für die Erziehung unserer Jugend, von W. Schmiedeberg, G. Wetzstein und G. Klatt im Verlage von Otto Salle, Berlin, 1917 erschienen sind (vergl. diese Zeitschr. 1917 S. 303.) Die Preisfrage lautete: Welche Forderungen sind nach dem Kriege an die Erziehung der deutschen Jugend zu stellen, und was kann der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht zur Verwirklichung dieser Forderungen beitragen? W. Schmiedeberg behandelt die Frage vom Standpunkt des Mathematikers, G. Klatt als Chemiker und Biologe. Die hier zu besprechende Arbeit nimmt den Physikunterricht zum Gegenstande.

G. WETZSTEIN vertritt die Gedanken, die mit den Worten „Schülerübungen in gleicher Front und Verwebung der Übungen mit dem Schauunterricht" gekennzeichnet und aus den Arbeiten von H. Hahn bekannt sind. Er stellt sich in allem wesentlichen auf den Hahnschen Standpunkt und sucht ihn gegen die von Kerschensteiner erhobenen Einwände zu verteidigen. Er zeigt in den 3 Hauptabschnitten der Arbeit, wie

durch den Übunterricht der Schüler nicht nur zur sorgfältigen Beobachtung, Geduld und Ausdauer erzogen wird, sondern daß er auch funktionale Zusammenhänge erfassen und logisch denken lernt. Die Folgerung, die Wetzstein im vierten Teil daraus zieht, ist die Forderung, den ganzen Unterricht auf verbindlichen, nicht fakultativen Übungen aufzubauen, in denen die Erziehungsziele über die Vermittlung von Kenntnissen gestellt werden. Zu diesem Zweck verlangt er, daß dem Physikunterricht bei gleichbleibender Stoffmenge eine viel reichlichere Zeit als bisher zugewiesen werde.

Zur Erläuterung seiner Ansichten gibt der Verfasser Auszüge aus seinem Lehrgang. Er spricht über seine Erfahrungen bei den Übungen im Längenmessen und im Wägen, über die Einführung des Kraftbegriffes mittels der Federwage, und mit besonderer Ausführlichkeit über die Erarbeitung des Hebelgesetzes im Übunterricht. Als Beispiele, wie er sich die Erziehung zum logischen Denken vorstellt, bringt er eine Einführung in die Wärmelehre, bespricht einen Weg zur Auffindung des Brechungsgesetzes, sowie eine Einführung in das Verständnis des Ohmschen Gesetzes.

W. verwendet einfache Geräte für seine Übungen; genauere Angaben macht er aber nur über seinen Hebel und über die verwendeten Galvanometer und Stromwiderstände. In einem besonderen Abschnitt gibt er eine Anleitung zur Verwendung von ausgebrannten Glühlampen im Übunterricht.

Die ganze Arbeit zeigt, daß der Verfasser an die schwere Aufgabe, Schülerübungen mit dem Klassenunterricht zu verweben, viel Mühe verwendet hat, sie spiegelt aber auch etwas von der Freude wieder, von der bei solchem Unterricht Lehrer und Schüler getragen werden.

Dr. Curt Fischer.

Nachwort. Unter den Erziehungszielen, die durch die Übungen zu erreichen sind, hebt der Verfasser neben der Gewöhnung an Sorgfalt, Geduld und Ausdauer besonders auch die Gewöhnung an selbständiges Überlegen und Handeln hervor, und er schließt seine Darlegungen mit den folgenden bemerkenswerten Worten, die den Geist der ganzen Abhandlung kennzeichnen: „Je mehr wir Lehrer es als unsere vornehmste vaterländische Pflicht auffassen, in der heranwachsenden deutschen Jugend diese Tugenden zu erziehen, um so mehr werden unsere Schüler, ausgestattet mit klarem und scharfem Verstand und mit offenem Blick, gewöhnt an Ordnung und Ausdauer, erfüllt von dem Bewußtsein ihrer Verantwortlichkeit, sich den Aufgaben gewachsen zeigen, die das Vaterland und das Leben an sie stellt." *P.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Vom Jenseits der Seele. Die Geheimwissenschaften in kritischer Betrachtung. Von Max Dessoir. Stuttgart, Ferdinand Enke. VIII u. 344 S.

Das Gebiet, das jenseits der Seele liegt, scheint zunächst den Physiker wenig zu berühren, dessen Wissenschaft ganz im Diesseits der Seele enthalten ist. Aber es ist doch auffallend, wie häufig namhafte Physiker gerade mit diesen Fragen, die so fern von ihrem Forschungsgebiet lagen, sich beschäftigt haben. Von Örsted ganz zu schweigen, den seine Herkunft aus der Schellingschen Naturphilosophie auf derartige Dinge hinwies, braucht nur an Fechner erinnert zu werden, dessen großes Verdienst gerade in der Ausdehnung der naturwissenschaftlichen Methode und Denkweise auf das philosophische Gebiet liegt, und der doch daneben den jenseitigen Dingen das tiefste Interesse zugewendet, ja in ihrer Darstellung vielleicht das Schwergewicht seiner Wirksamkeit erblickt hat. Das tragische Schicksal Zöllners ist bekannt, der durch einen mutmaßlichen Betrüger gänzlich in die Bande des Spiritismus geriet und in dem Sturm von Unwillen und Verachtung, den er dadurch in der wissenschaftlichen Welt erregte, schließlich zugrunde ging. Etwas vorsichtiger, aber doch nach derselben Richtung hin hat sich in neuerer Zeit der englische Physiker Sir Oliver Lodge bewegt.

Es muß also doch wohl ein geheimnisvoller Reiz vorhanden sein, der den Naturforscher auf ein Gebiet lockt, dessen Wesen gerade darin besteht, mit den Erkenntnissen der Naturwissenschaft nicht erreichbar zu sein. In der Tat mag man sich denken, daß es vom Standpunkt der Naturwissenschaft ein besonderes Interesse bietet, von solchen Erfahrungen zu hören, die sich in das naturwissenschaftliche Weltbild nicht einordnen lassen. Dabei ist es allerdings nötig, von Leichtgläubigkeit und Zweifelsucht sich gleich weit entfernt zu halten, weder eine Tatsache ohne sichernde Prüfung anzunehmen, noch von vornherein sich jeder Belehrung durch unzweifelhaft festgestellte Erfahrungen zu verschließen, weil diese Erfahrungen in das naturwissenschaft-

liche System sich nicht einfügen wollen. Berechtigt ist nur eine vernünftige, unvoreingenommene Kritik.

Von diesem Standpunkte aus mag das vorliegende Werk, das eine kritische Behandlung dieses weiten und schwer genau zu bezeichnenden Gebietes versucht, auch für den Physiker von Wert sein. Nur wird es gut sein, sich dabei vor übertriebenen Erwartungen zu hüten. Eine Übersicht über den Gesamtbereich der Geheimwissenschaften gibt das Buch nicht. Es handelt sich mehr um die Erscheinungen auf diesem Gebiet, die dem Verfasser im Laufe seines Lebens persönlich nahe getreten sind oder sein besonderes Interesse erweckt haben. Darum fehlt auch ein durchgehender, einheitlicher Gedankengang, es wird mehr eine Folge von Einzelbetrachtungen gegeben, die miteinander in mehr oder minder losem Zusammenhang stehen. Zum Teil sind es auch frühere Schriften, die unverändert abgedruckt werden. Selbst von dem Spiritismus, der in gewisser Weise den Mittelpunkt der Darstellung zu bilden bestimmt scheint, wird keine erschöpfende Behandlung versucht, es werden vielmehr nur die Fälle, die der Verfasser aus eigener Erfahrung beurteilen kann (Henry Slade, Eusapia Palladino und das Blumenmedium Anna Rothe), behandelt und einige allgemeine Erörterungen hinzugefügt. Auch in dem Abschnitt, der als Parapsychologie bezeichnet wird, ist nicht eine zusammenfassende, erschöpfende Darstellung dieser neuen Wissenschaft zu finden, sondern auf einen wieder abgedruckten referierenden Vortrag des Verfassers über die Erscheinungen des Unterbewußtseins folgen verhältnismäßig kurze Bemerkungen über Traum, Hypnose, Suggestion, Persönlichkeitsteilung und Persönlichkeitswechsel, Fernsehen und Voraussehen, wobei von einer kritischen Durcharbeitung der Gegenstände naturgemäß nicht die Rede sein kann. Eine ausführlichere Behandlung erfährt der Fall der Frau Piper in Boston, die in einem der Hypnose ähnlichen Zustande zu sprechen und zu schreiben anfängt und dabei Dinge zutage fördert, die ihr selbst in vollbewußtem Zustande, aber zum Teil auch den beteiligten Personen unbekannt sein müssen. Der unerklärliche Rest an diesen Vorgängen wird durch die Bezeichnung als seelischen Automatismus, der nur die Art der hier vorliegenden Tätigkeit angibt, nicht völlig gedeckt.

Alle die genannten Erscheinungen stehen wohl mit dem, was wir als Geheimwissenschaft bezeichnen, in enger Beziehung, die Betrachtung der wirklichen Vorgänge als solcher bedeutet aber noch nicht ein Eingehen auf die Geheimwissenschaften selbst. Vielmehr kann man sich denken, daß eine unabhängige Prüfung der Tatsachen wirksamer ist als die Berücksichtigung der vorliegenden geheimwissenschaftlichen Erklärungsversuche, von denen der bekannteste die Geisterlehre des Spiritismus ist. Dies ist auch im wesentlichen der Standpunkt des Verfassers. Damit steht allerdings nicht ganz in Einklang der Doppeltitel des Buches. Nur insofern den geheimwissenschaftlichen Ausdeutungen durch die kritische Beurteilung der wirklichen Tatsachen der Boden entzogen wird, ist dieser Doppeltitel berechtigt. Der Verfasser hat aber noch einen besonderen Abschnitt unter der Überschrift Geheimwissenschaft eingefügt. Dieser Abschnitt gibt jedoch wieder nicht etwa eine Übersicht über das Gesamtgebiet der Geheimwissenschaften, sondern behandelt nur einzelne Erscheinungen, die man zu ihnen rechnen kann, meines Erachtens nicht einmal die wichtigsten und bedeutendsten, deren Darstellung allerdings mühevolle historisch-literarische Forschungen notwendig gemacht hätte. Von einer Beziehung mancher dieser Erscheinungen, so der literarischen Phantastik in der Ausdeutung von Goethes Faust durch J. A. Louvier und der Shakespeareschen Dramen durch die Vertreter der Bacontheorie, sowie in der Sprachsymbolik eines Guido von List zu einem Jenseits der Seele kann meines Erachtens keine Rede sein. Was hat es mit übernatürlichen Seelenkräften zu tun, wenn der vermutete Verfasser der Shakespearischen Dramen auf besonders verschmitzte Weise das Bekenntnis seiner Urheberschaft in diesen Dramen selbst versteckt haben soll?

Den letzten Abschnitt seines Buches hat der Verfasser als Magischen Idealismus überschrieben. Daß hierbei die Denkmittel des magischen Idealismus eine Behandlung finden, erscheint nur natürlich und berechtigt. Etwas bedenklich kommt mir aber die Verquickung mit dem theoretischen und ethischen Idealismus vor. Wohl mag es von großer Bedeutung sein, den Zusammenhang des Idealismus, den unsere Philosophen verkündet haben, mit mystischen und magischen Vorstellungen, die sich in jahrtausendelanger Entwicklung festgesetzt hatten und auch in das spekulative Denken Eingang fanden, zu ergründen. Aber diese Aufgabe ist eine außerordentlich schwierige und erfordert eine andere Behandlung, als sie hier gegeben ist. Aus dem Durcheinander der Namen, die durch die verschiedenen Jahrhunderte hin und her springen, heben sich nur vereinzelt die Namen unserer großen Philosophen hervor. Von einem Eingehen auf die inneren Entstehungsgründe

des transzendenten Einschlags in den philosophischen Systemen ist keine Rede. In der Tat würde das eine besondere gründliche Untersuchung erfordern, die fast ein Lebenswerk darstellen würde. Das Bestreben des Verfassers ist es wohl mehr gewesen, anzuregen und aufzuklären, und dieser Zweck wird gerade durch die ungebundene Darstellung, wie er sie gewählt hat, sehr gut erreicht. So kann das Buch auch dem Naturwissenschaftler manches Wissens- und Beherzigenswerte bringen. Der Naturwissenschaftler wird auch durchaus einverstanden sein, wenn der Verfasser am Schlusse seiner Darstellung zusammenfassend sagt: „Mit Weltbildern, denen das farbige Wechselspiel von Erfahrung und Vernunft fehlt, kann niemals ein Fortschritt der Erkenntnis verbunden sein."

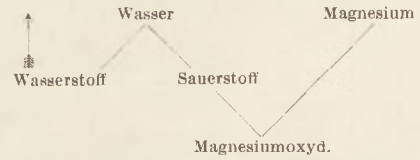
H. E. Timerding, Braunschweig.

Der Kreislauf des Stickstoffs. Von Hofrat Dr. Müller-Lenhartz, Administrator a. Landw. Inst. d. Univ. Leipzig. Hannover, Schaper 1917. 49 S. M. 1,80.

Die Schrift behandelt unter Beifügung zahlreicher Literaturangaben den Stickstoff in seiner Bedeutung für die Ernährungsvorgänge in der Pflanzenwelt und für die Stoffwechselvorgänge im Tierreich. Weiterhin finden sich wertvolle Ausführungen zur Frage des Stickstoffersatzes und der modernen künstlichen Düngung. Die kleine, übrigens recht teure Schrift kann im chemischen wie im biologischen Unterricht gute Dienste leisten. *O. Ohmann.*

Anfangsgründe der Chemie und Mineralogie mit besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse des praktischen Lebens. Neunte, erweiterte Aufl., unter Mitwirkung von W. Haber, Gymn.-Oberl. in Hildesheim, neubearbeitet von M. Mittag, Seminar-Oberl. in Cöthen. Mit 112 zum Teil farbigen Abbildungen und einer farbigen Nahrungsmitteltafel. Hildesheim und Leipzig 1916, A. Lax. 95 S.

Das Büchlein ist für Anstalten bestimmt, in denen die Chemie hauptsächlich ihrer Anwendungen wegen gelehrt wird. Daher sind bei der Auswahl des Stoffes, der nicht nur die anorganische, sondern auch die organische Chemie, sowie Mineralogie und Geologie angemessen berücksichtigt, „in erster Linie die Bedürfnisse des praktischen täglichen Lebens, namentlich auch in Haus und Küche" maßgeblich gewesen. Die chemische Formelsprache ist, weil zu viel theoretische Kenntnisse voraussetzend, nur untergeordnet gebraucht; hingegen sucht der Verf. die Vorgänge durch „Schemas" übersichtlich darzustellen. Beispielsweise soll folgendes Schema die Zersetzung des Wasserdampfes durch hocherhitztes Magnesium versinnbildlichen (S. 16):



Ob diese Veranschaulichung gegenüber der Gleichung $H_2O + Mg = MgO + 2H$, in der zunächst die Multiplikatoren ohne Schaden weggelassen werden dürfen, eine Erleichterung bedeutet, wird mancher Lehrer bezweifeln. Die Darstellung ist klar und verständlich, nur hin und wieder zu volkstümlich, so bei der Besprechung der neueren Stahlsorten, wo es heißt, daß durch ihre Widerstandsfähigkeit „in Zukunft . . . den Geldschrankknackern hoffentlich das Handwerk gelegt ist." Die zahlreichen Angaben aus der Kriegschemie und der „Übungsstoff" am Ende der Abschnitte mit seinen Anregungen zu Schülerversuchen sind von Wert. *J. Schiff.*

Die Sprengstoffe, ihre Chemie und Technologie. Von G.-R. Prof. Dr. R. Biedermann. 2. Aufl. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1917. „Aus Natur u. Geisteswelt" Nr. 286. 128 S. Geb. M. 1,50.

Das Buch gibt an der Hand eines reichen Zahlenmaterials einen trefflichen Überblick über die Natur und die Wirkungsweise der wichtigsten Sprengstoffe, wobei auch die Entdeckungen der letzten Zeit Berücksichtigung finden. Besonders zu loben ist das erste geschichtliche Kapitel, in welchem die Entwicklung der Sprengstoffherstellung vom „griechischen Feuer" an bis in die Gegenwart verfolgt wird. *O. Ohmann.*

Zur astronomischen Tafel für 1918.

Eine Erläuterung der Tafel kann diesmal wegen des beschränkten Raumes hier nicht beigegeben werden. Es sei auf den der Sonderausgabe[1]) beigegebenen Text verwiesen. Diese enthält wie früher kurze Erklärungen, in denen die astronomischen Grundlagen als bekannt gelten, ferner ergänzende Tabellen, besonders die täglichen Zeiten des Erscheinens und des Verschwindens der Planeten, die hier seit 1915, sonst nirgends zu finden sind. Endlich eine neue einfache Art, ein wagerechtes Blatt mittelst einer darauf gezeichneten Ellipse zu orientieren. Man

[1]) Die Sonderausgabe der Tafel kann von der Verlagsbuchhandlung für 0,60 M. bezogen werden. Ermäßigung bei Abnahme einer größeren Anzahl findet diesmal nicht statt.

sucht in der Figur einen Tagespunkt A und einen Stundenpunkt B (wahre Sonnenzeit) und dreht die Strecke AB möglichst zur Sonne, wozu der Schatten eines lotrechten Bleistifts bei B benutzt wird. Die Uhr dient nicht mehr als Winkelmesser wie bei der falschen Regel der Pfadfinder, sondern nur zur Ermittlung der Zeit.

M. Koppe.

Himmelserscheinungen im Februar und März 1918.

Breite von Berlin. 0^h = Mitternacht. Berliner Zeit = MEZ $- 0{,}1^h$

MEZ		Februar 5	10	15	20	25	März 2	7	12	17	22	27
12^h	☿ AR	19^h41^m	20.10	20.41	21.13	21.46	22.19	22.53	23.28	0. 3	0.38	1^h13^m
	☿ D	-22^0	− 21	− 20	− 18	− 16	− 13	− 9	− 6	− 1	+ 3	+ 8
12^h	♀ AR	21^h33^m	21.20	21. 9	21. 0	20.54	20.52	20.55	21. 1	21.11	21.22	21.36
	♀ D	− 7^0	− 7	− 8	− 8	− 9	− 10	− 11	− 11	− 11	− 11	− 11
12^h	☉ AR	21^h13^m	21.33	21.53	22.12	22.31	22.50	23. 9	23.27	23.46	0. 4	0.22
	☉ D	− 16^0 6′	− 14.32	− 12.52	− 11. 7	− 9.17	− 7.25	− 5.29	− 3.32	− 1.34	− 0.24	+ 2.22
12^h	♂ AR	12^h17^m	12.16	12.14	12.11	12. 6	12. 1	11.55	11.48	11.40	11.33	11.26
	♂ D	2^0	2	3	3	4	4	5	6	6	7	7
12^h	♃ AR	3^h59^m		4. 1		4. 4		4. 9		4.14		4.21
	♃ D	20^0		20		20		20		21		21
12^h	♄ AR	8^h54^m					8.46					
	♄ D	18^0					19					
12^h	Sternzeit im mittl. Mittag	20^h59^m 8^s	21.18.51	21.38.34	21.58.16	22.17.59	22.37.42	22.57.25	23.17. 7	23.36.50	23.56.33	0.16.16
12^h	Zeitgl.	14^m 7^s	14.23	14.20	13.58	13.19	12.24	11.19	10. 3	8.39	7.11	5.39
Orts-zeit	☉ Aufg.	7^h39^m	7.30	7.20	7.10	7. 0	6.49	6.37	6.26	6.14	6. 2	5.50
	☉ Unterg.	16^h50^m	17. 0	17. 9	17.19	17.28	17.37	17.47	17.56	18. 5	18.13	18.22
	☾ Aufg.	2^h34^m	6.39	8.27	11.48	17.30	23.11	3.19	5.46	7.59	13. 4	18.43
	☾ Unterg.	10^h28^m	16. 5	23.23	4. 1	6.18	7.38	10.57	17.55	—	3.45	5.11

Frühlingsanfang (MEZ) 21. März 11^h26^m.

Mondphasen in MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
				Febr. 4, 8^h52^m
	Febr. 11, $11^h\ 4^m$	Febr. 18, 1^h57^m	Febr. 15, 22^h34^m	März 6, 1^h43^m
	März 12, 20^h52^m	März 19, 14^h30^m	März 27, 16^h33^m	April 4, 14^h33^m

Planetensichtbarkeit (Ortszeit). Merkur bleibt unsichtbar. A = Aufgang, U = Untergang, D = Erscheinen oder Verschwinden in der Dämmerung. Vormittag- und Nachmittag-Stunden sind unterschieden.

Sternbild:	♀ (Abendstern b. II. 9 $5{,}7^h$ nchm.) Morgenst.	♂ zwischen Löwe und Jungfrau		2 im Stier		♄ im Krebs	
	vorm.	vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.
Februar 10	A $6{,}6^h$;	D $6{,}7^h$	A $8{,}7^h$;	D $6{,}3^h$	D $6{,}1^h$;	U $2{,}6^h$	D $6{,}2^h$;	D $6{,}3^h$
März 2	A $5{,}0^h$;	D $6{,}1^h$	A $6{,}9^h$;	D $5{,}6^h$	D $6{,}7^h$;	U $1{,}5^h$	D $6{,}8^h$;	D $5{,}6^h$
März 22	A $4{,}3^h$;	D $5{,}4^h$	D $7{,}4^h$;	D $4{,}9^h$	D $7{,}3^h$;	U $0{,}2^h$	D $7{,}4^h$;	U $4{,}6^h$

Verfinsterungen der Jupitermonde (MEZ). — Nachmittags-Stunden. E = Eintritt. A = Austritt.

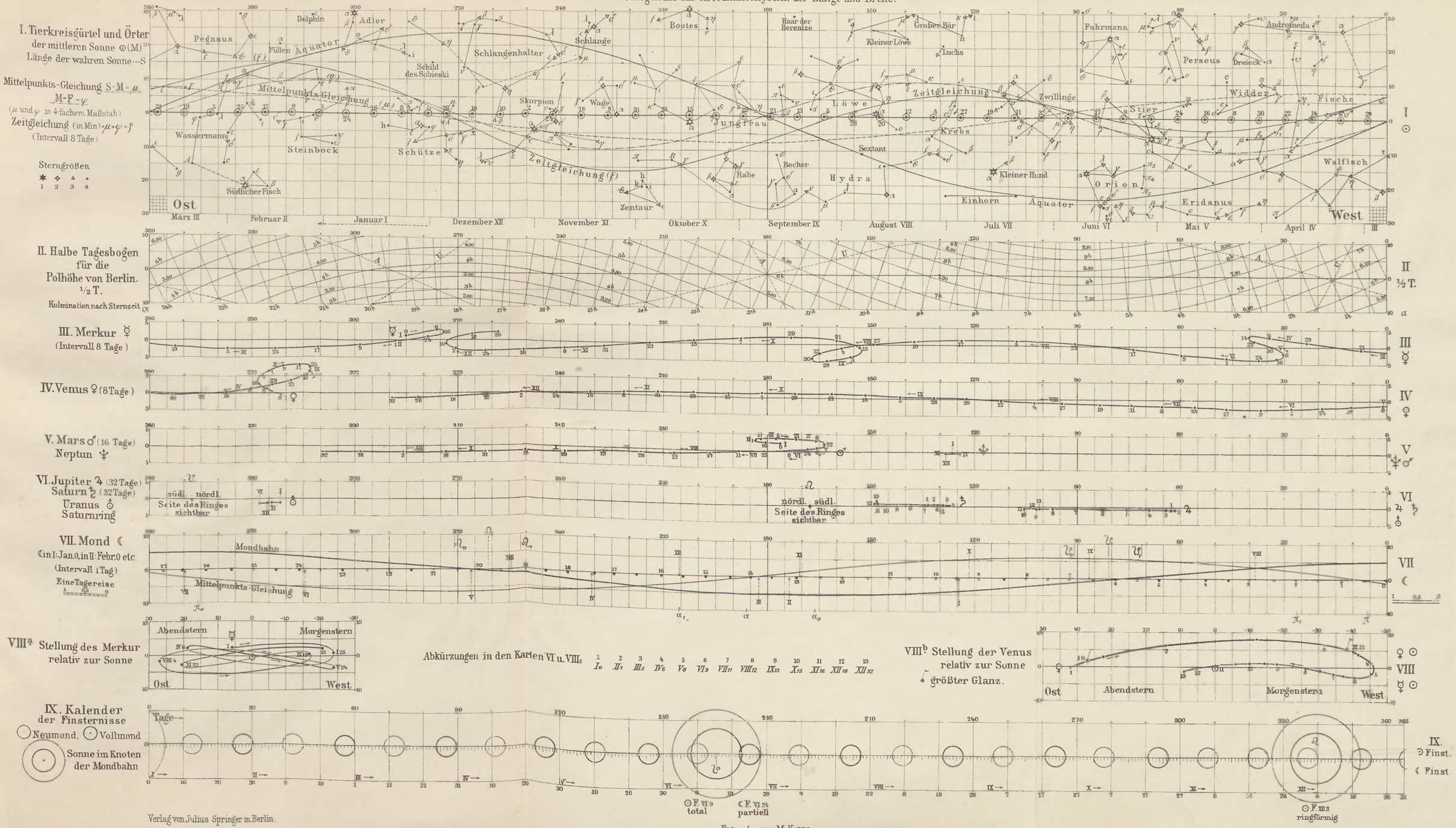
Febr. 4, $6^h\ 27{,}0^m$ A I.	Febr. 18, $8^h\ 25{,}0^m$ A III.	März 6, $8^h\ 39{,}0^m$ A I.
„ 11, $8^h\ 23{,}0^m$ A I.	„ 21, $6^h\ 9{,}0^m$ E II.	„ 25, $8^h\ 27{,}0^m$ A II.
„ 14, $6^h\ 5{,}0^m$ A II.	„ 27, $6^h\ 43{,}0^m$ A I.	„ 29, $8^h\ 54{,}0^m$ A I.
„ 18, $6^h\ 7{,}0^m$ E III.	„ 28, $8^h\ 46{,}0^m$ E II.	*M. Koppe.*

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1918

bezogen auf das Koordinatensystem der Länge und Breite.



Verlag von Julius Springer in Berlin.

Entworfen von M. Koppe.

Geogr.-lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller in Berlin.